



**Implementación de un sistema de inyección electrónica gasolina SFI en el motor de combustión interna 4G13 Mitsubishi Lancer 1300cc para optimización de sus parámetros característicos.**

Codena Iza, Bryan Alexander y Morales Alba, Anderson Eduardo

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

14 febrero 2022

Latacunga



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación, "Implementación de un sistema de inyección electrónica gasolina SFI en el motor de combustión interna 4G13 Mitsubishi Lancer 1300cc para optimización de sus parámetros característicos" fue realizado por los señores Codena Iza, Bryan Alexander con cédula de ciudadanía n° 1724687593 y Morales Alba, Anderson Eduardo con cédula de ciudadanía n° 1003939046, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 14 de febrero 2022

  Firmado digitalmente  
por WASHINGTON  
GERMAN ERAZO  
LAVERDE  
Fecha: 2022.02.14  
14:09:55 -05'00'

**Ing. Erazo Laverde, Washington Germán**

C.C: 0501432637



Tesis Codena\_Morales GERMAN ERAZO.pdf

Scanned on: 22:51 February 9, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	1407
Words with Minor Changes	358
Paraphrased Words	630
Omitted Words	0

Firmado digitalmente  
por WASHINGTON  
GERMAN ERAZO  
LAVERDE

Fecha: 2022.02.09  
20:00:50 -05'00'



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Codena Iza, Bryan Alexander** con cédula de ciudadanía n° 1724687593 y **Morales Alba, Anderson Eduardo** con cédula de ciudadanía n° 1003939046, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Implementación de un sistema de inyección electrónica gasolina SPI en el motor de combustión interna 4G13 Mitsubishi Lancer 1300cc para optimización de sus parámetros característicos"**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los registros legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas..

Latacunga, 14 de febrero 2022

Firmas

**Codena Iza, Bryan Alexander**

C. C 1724687593

**Morales Alba, Anderson Eduardo**

C. C 1003939046



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**Autorización de publicación**

Nosotros, **Codena Iza, Bryan Alexander** con cédula de ciudadanía n° 1724687593 y **Morales Alba, Anderson Eduardo** con cédula de ciudadanía n° 1003939046, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Implementación de un sistema de inyección electrónica gasolina SFI en el motor de combustión interna 4G13 Mitsubishi Lancer 1300cc para optimización de sus parámetros característicos"**, en el Repositorio Institucional cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 14 de febrero 2022

Firmas

**Codena Iza, Bryan Alexander**

C. C 1724687593

**Morales Alba, Anderson Eduardo**

C. C 1003939046

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo principalmente a mis padres Cesar Codena y Patricia Iza quienes han sido el pilar fundamental en la culminación de esta meta universitaria, que con esfuerzo diario han sabido sacar adelante a cada hijo, nos han brindado el mejor ejemplo de constancia y dedicación al conseguir nuestras metas.

A mi abuelita María Natividad Aluiza y tíos que ha sido un pilar fundamental en mi vida, que siempre se ha preocupado por mi salud y bienestar, me han brindado sus mejores consejos y han marcado huellas en juventud.

A mis hermanos Danny y Karen las personas más importantes en mi vida, por estar siempre junto a mi para aconsejarme, apoyarme y animarme cuando más lo necesitaba

A mis amigos y compañeros con quienes luchamos por varios años y hemos logrado llegar a la tan anhelada meta,

**Bryan Alexander Codena Iza**

## **Dedicatoria**

El presente proyecto quiero dedicar a mis padres María Alba y Eduardo Morales quienes me han apoyado mucho para lograr ser un profesional, el cariño brindado y las facilidades económicas han sido las bases fundamentales que me ayudaron a ser un excelente académico y lograr culminar mis estudios sin ninguna dificultad.

A mi hermana quien inicio conmigo los estudios y con esfuerzo y dedicación también a la fecha lo consiguió, por su apoyo y consejos quedo muy agradecido.

A la Sra Carmen Laica y Paul Laica quienes conocí cuando inicié mis estudios me acogieron en su casa y no solo me apoyaron con un techo, sino también con consejos y cariño.

**Anderson Eduardo Morales Alba**

## **Agradecimiento**

El presente agradecimiento va dirigido a Dios por su gran misericordia que ha brindado salud y vida para llegar a culminar con éxito este proyecto dentro de esta etapa de mi vida, por escuchar mis oraciones y saber guiar mi camino a ser una buena persona.

Agradezco a mis padres que han sido mi mayor ejemplo de esfuerzo y superación, que quienes con sus consejos fueron el motor de arranque y mi constante motivación, muchas gracias por su paciencia y comprensión, y sobre todo por su amor.

A mis amados hermanos quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siguiera delante y siempre sea perseverante y cumpla con mis metas.

Quiero mostrar mi gratitud a mis compañeros, amigos y todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan impórtate para mí, agradecer por todas sus ayudas, sus palabras motivadoras, sus conocimientos, sus consejos y dedicación.

**Bryan Alexander Codena Iza**

## **Agradecimiento**

Antes de nada, un agradecimiento a Dios por haberme guiado siempre en mi vida y ayudado a tomar las mejores decisiones en malos momentos, así como me a brindado salud y vida.

Quiero agradecer a mi madre María Alba por siempre apoyarme en mis decisiones por tener la fortaleza de ayudarme siendo madre y padre a la vez, por sustentar la casa y que nunca falte la comida en la mesa.

A mi padre Eduardo Morales quien a pesar de su enfermedad nos ha seguido apoyando y siempre ha estado pendiente de sus hijos dando consejos e ideas para sobresalir en los obstáculos de la vida.

A mis abuelitos los cuales han estado siempre pendientes de cómo me va en mis estudios y quienes han orado en mi nombre para que Dios siempre me acompañe y cuide, así como a la virgen del Quinche quien está guiando mi camino y ayudándome a sobresalir de las enfermedades y dificultades.

**Anderson Eduardo Morales Alba**

## Tabla de contenidos

Carátula .....	1
Certificación .....	2
Reporte verificación de contenido.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación .....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento .....	8
Tabla de contenidos.....	10
Índice de figuras.....	16
Índice de tablas .....	21
Resumen .....	25
Abstract.....	26
Marco metodológico de investigación.....	27
Antecedentes .....	27
Planteamiento del problema.....	29
Descripción resumida del proyecto.....	30
Justificación e importancia .....	31
Objetivos .....	32
<i>General</i> .....	32
<i>Específicos</i> .....	32
Metas.....	33
Hipótesis.....	33
Variables de investigación .....	34

<i>Variables independientes</i> .....	34
<i>Variable dependiente:</i> .....	35
<b>Metodología de desarrollo del proyecto</b> .....	35
<i>Método deductivo</i> .....	35
<i>Método inductivo</i> .....	36
<i>Método analítico</i> .....	36
<i>Método de síntesis</i> .....	36
<i>Método experimental</i> .....	36
<i>Método comparativo</i> .....	36
<i>Método de observación directa</i> .....	37
<b>Marco teórico</b> .....	41
Sistema de alimentación por carburador.....	42
Sistema de alimentación por inyección electrónica.....	43
Tipos de sistemas de inyección electrónica.....	45
<i>Ubicación del inyector</i> .....	45
<i>Según el número de inyectores</i> .....	46
<i>Según el tipo de inyección</i> .....	48
<i>Según el sistema de inyecciones</i> .....	50
Sistema de admisión de aire.....	51
<i>Filtro de aire</i> .....	52
<i>ITB</i> .....	53
<i>Múltiple de admisión</i> .....	54
Parámetros característicos del MCI.....	55
<i>Potencia</i> .....	55
<i>Torque o par motor</i> .....	56
<i>Consumo específico de combustible</i> .....	58

Diseño del múltiple de admisión.....	59
<i>Renovación de la carga</i> .....	60
<i>Flujos de aire</i> .....	64
<i>Presiones y temperaturas del funcionamiento del motor</i> .....	67
Trabajo neto .....	73
Flujo laminar.....	73
Flujo turbulento.....	74
Numero de Reynolds .....	75
Pérdidas menores .....	76
<i>Pérdida por dilatación súbita</i> .....	77
<i>Pérdida de energía por dilatación gradual</i> .....	78
<i>Codos de tubería</i> .....	80
<i>Pérdida total de energía</i> .....	82
Ecuación de estado .....	82
Sistema de inyección SFI .....	83
<i>Inyectores</i> .....	84
<i>Bomba de gasolina</i> .....	86
<i>Unidad de control ECU</i> .....	87
<i>Sensor MAP (Presión absoluta de la múltiple admisión)</i> .....	92
<i>Sensor MAF (Flujo de masa de aire)</i> .....	95
<i>Sensor CKP (Posición del cigüeñal)</i> .....	97
<i>Sensor TPS (Posición de mariposa)</i> .....	99
<i>Sensor de oxígeno O2</i> .....	101
<i>Sensor WTS (Temperatura de refrigerante)</i> .....	103
Diseño y selección de componentes .....	106
Características iniciales del motor .....	106

Consideraciones para la adaptación .....	107
<i>Mantenimiento preventivo</i> .....	107
<i>Medición de compresión</i> .....	108
<i>Prueba de estanqueidad</i> .....	109
Análisis del lugar y espacio para implementar el sistema SFI .....	111
Obtención de datos preliminares al diseño .....	112
<i>Cilindrada unitaria</i> .....	115
<i>Volumen de la cámara de combustión</i> .....	116
<i>Volumen de la cilindrada del motor</i> .....	116
<i>Masa de aire en admisión</i> .....	116
<i>Flujo volumétrico</i> .....	117
<i>Flujo másico</i> .....	117
<i>Presión de admisión</i> .....	118
<i>Temperatura de admisión</i> .....	118
<i>Presión de compresión</i> .....	119
<i>Temperatura de compresión</i> .....	120
<i>Temperatura de explosión</i> .....	121
<i>Presión de explosión</i> .....	122
<i>Presión al final de expansión</i> .....	123
<i>Temperatura al final de expansión</i> .....	123
<i>Trabajo neto</i> .....	123
<i>Velocidad a la salida del colector de admisión</i> .....	124
Dimensionamiento del conducto de admisión.....	125
<i>Velocidad del pistón</i> .....	126
<i>Superficie del pistón</i> .....	126
<i>Sección del conducto</i> .....	126

<i>Diámetro del conducto</i> .....	126
<i>Selección del material a usar</i> .....	127
<b>Propuesta de diseños</b> .....	128
<b>Propiedades del aire</b> .....	131
<b>Diseño mediante software CFD</b> .....	132
<i>Creación de lids</i> .....	132
<i>Delimitación del dominio</i> .....	133
<i>Parámetros iniciales</i> .....	133
<i>Análisis conductos 0° de inclinación</i> .....	136
<i>Análisis conductos a 45 ° de inclinación</i> .....	141
<i>Análisis con codos a 90 ° de inclinación</i> .....	148
<i>Análisis comparativo</i> .....	153
<b>Cálculos para el diseño seleccionado</b> .....	157
<b>Cálculo de velocidades</b> .....	158
<b>Número de Reynolds</b> .....	160
<b>Pérdidas de energía</b> .....	162
<b>Montaje y adecuaciones de los sistemas</b> .....	166
<i>Montaje del múltiple de admisión e ITBS</i> .....	166
<i>Montaje del sistema de alimentación de combustible</i> .....	167
<i>Bobinas independientes</i> .....	169
<b>Control electrónico (Arnés)</b> .....	170
<b>Sensores</b> .....	175
<i>Sensor CKP</i> .....	175
<i>Sensor CMP</i> .....	177
<i>Sensor IAT</i> .....	178
<i>Sensor ECT</i> .....	179

<i>Sensor TPS</i> .....	179
Programación de la computadora.....	180
Pruebas y análisis de resultados del desempeño del motor 4G13.....	187
Pruebas antes de la investigación .....	187
<i>Prueba de potencia y torque en el dinamómetro</i> .....	187
<i>Emisión de gases contaminantes</i> .....	191
<i>Consumo de combustible</i> .....	192
Pruebas con el sistema SFI implementado .....	194
<i>Pruebas de potencia y torque en el dinamómetro</i> .....	194
<i>Emisión de gases contaminantes</i> .....	197
<i>Consumo de combustible</i> .....	198
Análisis de resultados. ....	199
<i>Torque motor 4G13</i> .....	199
<i>Potencia</i> .....	201
<i>Emisión de gases contaminantes</i> .....	202
<i>Consumo de combustible</i> .....	204
Marco administrativo .....	206
Recursos humanos.....	206
Recursos tecnológicos.....	206
Recursos materiales .....	207
Costo neto del proyecto .....	209
Conclusiones y recomendaciones .....	210
Conclusiones .....	210
Recomendaciones .....	211
Bibliografía.....	213

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b>	<i>Esquema planteamiento del problema</i> .....	30
<b>Figura 2</b>	<i>Componentes del sistema de alimentación de combustible gasolina</i> .....	41
<b>Figura 3</b>	<i>Sistema de alimentación por carburador</i> .....	42
<b>Figura 4</b>	<i>Sistema de inyección electrónica</i> .....	44
<b>Figura 5</b>	<i>Inyección directa de gasolina</i> .....	45
<b>Figura 6</b>	<i>Inyección indirecta gasolina</i> .....	46
<b>Figura 7</b>	<i>Inyección multipunto</i> .....	47
<b>Figura 8</b>	<i>Inyección mono punto</i> .....	48
<b>Figura 9</b>	<i>Comparación de los sistemas de inyección</i> .....	49
<b>Figura 10</b>	<i>Tipos de inyección ndirecta de gasolina</i> .....	50
<b>Figura 11</b>	<i>Partes del sistema de admisión</i> .....	51
<b>Figura 12</b>	<i>Filtro de aire de alto flujo</i> .....	52
<b>Figura 13</b>	<i>ITB marca KEIHIN</i> .....	53
<b>Figura 14</b>	<i>Múltiple de admisión Mitsubishi Lancer</i> .....	54
<b>Figura 15</b>	<i>Curva característica de potencia del motor</i> .....	56
<b>Figura 16</b>	<i>Curva característica del torque del motor</i> .....	57
<b>Figura 17</b>	<i>Curva de consumo específico de combustible y par</i> .....	58
<b>Figura 18</b>	<i>Múltiple de admisión</i> .....	60
<b>Figura 19</b>	<i>Perfil de velocidad de fluído en la región de entrada</i> .....	65
<b>Figura 20</b>	<i>Flujo laminar</i> .....	74
<b>Figura 21</b>	<i>Flujo turbulento</i> .....	74
<b>Figura 22</b>	<i>Flujo laminar y turbulento</i> .....	75
<b>Figura 23</b>	<i>Dilatación súbita</i> .....	77
<b>Figura 24</b>	<i>Dilatación gradual expansión</i> .....	78
<b>Figura 25</b>	<i>Contracción gradual de contracción</i> .....	79

<b>Figura 26</b> <i>Codo de tubería</i> .....	80
<b>Figura 27</b> <i>Sistema de inyección secuencial</i> .....	83
<b>Figura 28</b> <i>Orden de inyección secuencial</i> .....	84
<b>Figura 29</b> <i>Inyector de gasolina</i> .....	85
<b>Figura 30</b> <i>Curva Corriente vs Tiempo del funcionamiento de un inyector</i> .....	86
<b>Figura 31</b> <i>Bomba de combustible gasolina</i> .....	87
<b>Figura 32</b> <i>Simulación diagrama eléctrico ECU</i> .....	88
<b>Figura 33</b> <i>ECU programable</i> .....	89
<b>Figura 34</b> <i>ECU programable MegaSquirt 3 pro</i> .....	90
<b>Figura 35</b> <i>MegaSquirt Jumper</i> .....	91
<b>Figura 36</b> <i>Tuner Studio</i> .....	92
<b>Figura 37</b> <i>Sensor de presión absoluta MAP</i> .....	93
<b>Figura 38</b> <i>Curva analógica del sensor MAP</i> .....	94
<b>Figura 39</b> <i>Simulación diagrama eléctrico sensor MAP</i> .....	94
<b>Figura 40</b> <i>Sensor de flujo de aire MAF</i> .....	95
<b>Figura 41</b> <i>Curva generada por el sensor MAF</i> .....	96
<b>Figura 42</b> <i>Simulación diagrama eléctrico sensor MAF</i> .....	97
<b>Figura 43</b> <i>Curva generada por el sensor CKP tipo Hall</i> .....	98
<b>Figura 44</b> <i>Simulación diagrama eléctrico sensor CKP Hall</i> .....	99
<b>Figura 45</b> <i>Sensor de posición del acelerador TPS</i> .....	100
<b>Figura 46</b> <i>Simulación diagrama eléctrico sensor TPS</i> .....	101
<b>Figura 47</b> <i>Sensor de oxígeno O2</i> .....	102
<b>Figura 48</b> <i>Forma de onda sensor de oxígeno 2 cables</i> .....	102
<b>Figura 49</b> <i>Simulación diagrama eléctrico sensor EGO</i> .....	103
<b>Figura 50</b> <i>Sensor de temperatura del refrigerante WTS</i> .....	104
<b>Figura 51</b> <i>Forma de onda sensor WTS</i> .....	105

<b>Figura 52</b> <i>Esquema eléctrico sensor WTS</i> .....	105
<b>Figura 53</b> <i>Limpieza del habitáculo del motor</i> .....	107
<b>Figura 54</b> <i>Medición de compresión en el cilindro 2</i> .....	108
<b>Figura 55</b> <i>Prueba de estanqueidad en el cilindro 3</i> .....	110
<b>Figura 56</b> <i>Motor 4G13 estándar</i> .....	111
<b>Figura 57</b> <i>Espacio disponible en vehículo</i> .....	112
<b>Figura 58</b> <i>Anemómetro digital</i> .....	113
<b>Figura 59</b> <i>Velocidad mínima de aire en ralentí</i> .....	114
<b>Figura 60</b> <i>Velocidad media de aire a 3500 RPM</i> .....	114
<b>Figura 61</b> <i>Velocidad media de aire a 6000 RPM</i> .....	115
<b>Figura 62</b> <i>Vista isométrica del múltiple 0° de inclinación</i> .....	128
<b>Figura 63</b> <i>Vista lateral del múltiple 0° de inclinación</i> .....	129
<b>Figura 64</b> <i>Vista isométrica del múltiple a 45° de inclinación</i> .....	129
<b>Figura 65</b> <i>Vista lateral del múltiple a 45° de inclinación</i> .....	130
<b>Figura 66</b> <i>Vista isométrica del múltiple a 90° de inclinación</i> .....	130
<b>Figura 67</b> <i>Creación de lids en las caras del múltiple</i> .....	132
<b>Figura 68</b> <i>Creación de lids en las caras del múltiple</i> .....	133
<b>Figura 69</b> <i>Parámetros iniciales de presión y temperatura</i> .....	134
<b>Figura 70</b> <i>Condiciones de datos de ingreso</i> .....	134
<b>Figura 71</b> <i>Condiciones de salida del fluido</i> .....	135
<b>Figura 72</b> <i>Múltiple de admisión 0° de inclinación</i> .....	136
<b>Figura 73</b> <i>Múltiple 0° de inclinación a baja carga</i> .....	137
<b>Figura 74</b> <i>Múltiple 0° de inclinación – carga media</i> .....	138
<b>Figura 75</b> <i>Múltiple 0° de inclinación – carga alta</i> .....	139
<b>Figura 76</b> <i>Múltiple de admisión a 45° de inclinación</i> .....	142
<b>Figura 77</b> <i>Múltiple a 45 ° de inclinación en carga baja</i> .....	143

<b>Figura 78</b> <i>Múltiple a 45 ° 0° de inclinación – carga media</i> .....	144
<b>Figura 79</b> <i>Múltiple a 45° de inclinación – carga alta</i> .....	145
<b>Figura 80</b> <i>Múltiple de admisión a 90° de inclinación</i> .....	148
<b>Figura 81</b> <i>Múltiple a 90 ° de inclinación en carga baja</i> .....	149
<b>Figura 82</b> <i>Múltiple a 90° de inclinación – carga media</i> .....	150
<b>Figura 83</b> <i>Múltiple a 90 ° 0de inclinación – carga alta</i> .....	151
<b>Figura 84</b> <i>Comparación de las velocidades en función de las RPM</i> .....	154
<b>Figura 85</b> <i>Comparación del flujo másico en función de las RPM</i> .....	155
<b>Figura 86</b> <i>Comparación del flujo volumétrico en función de las RPM</i> .....	156
<b>Figura 87</b> <i>Diseño del múltiple de admisión a 45°</i> .....	157
<b>Figura 88</b> <i>Velocidades presentadas en el múltiple de admisión 45 grados</i> .....	158
<b>Figura 89</b> <i>Coeficiente de resistencia- contracción gradual con <math>\theta \geq 15^\circ</math></i> .....	163
<b>Figura 90</b> <i>Coeficiente de resistencia- contracción gradual con <math>\theta &lt; 15^\circ</math></i> .....	165
<b>Figura 91</b> <i>Bobinas independientes AVICAR</i> .....	170
<b>Figura 92</b> <i>Pin Out MS3</i> .....	171
<b>Figura 93</b> <i>Sensor CKP inductivo</i> .....	176
<b>Figura 94</b> <i>Sensor CKP inductivo</i> .....	176
<b>Figura 95</b> <i>Colocación del sensor CKP</i> .....	177
<b>Figura 96</b> <i>Colocación del sensor CMP</i> .....	178
<b>Figura 97</b> <i>Colocación del sensor IAT</i> .....	178
<b>Figura 98</b> <i>Colocación del sensor ECT</i> .....	179
<b>Figura 99</b> <i>Colocación del sensor TPS</i> .....	180
<b>Figura 100</b> <i>Interfaz TunerStudio MS versión 3.1.06</i> .....	180
<b>Figura 101</b> <i>Torque y potencia vs rpm del motor estándar</i> .....	189
<b>Figura 102</b> <i>Gases contaminantes en motor carburado.</i> .....	191
<b>Figura 103</b> <i>Ruta establecida en Google Maps</i> .....	192

<b>Figura 104</b> <i>Tacómetro de combustible marcando Full</i> .....	193
<b>Figura 105</b> <i>Llenado de combustible al tanque del vehículo</i> .....	193
<b>Figura 106</b> <i>Curvas de torque y potencia implementado el sistema SFI</i> .....	195
<b>Figura 107</b> <i>Emisiones de gases implementado el sistema SFI</i> .....	198
<b>Figura 108</b> <i>Consumo de combustible implementado el sistema SFI</i> .....	198
<b>Figura 109</b> <i>Torque entre iniciales y finales</i> .....	200
<b>Figura 110</b> <i>Torque máximo del motor 4G13 con diferente sistema de alimentación</i> ...	201
<b>Figura 111</b> <i>Potencia entre finales e iniciales</i> .....	201
<b>Figura 112</b> <i>Potencia máxima del motor 4G13 con diferente sistema de alimentación</i> .....	202
<b>Figura 113</b> <i>Valores de CO y CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> emitidos con cada sistema de alimentación</i> ...	203
<b>Figura 114</b> <i>Valores HC emitidos con cada sistema de alimentación</i> .....	204
<b>Figura 115</b> <i>Consumo de combustible con cada sistema de alimentación</i> .....	205

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Operacionalización de la variable independiente</i> .....	34
<b>Tabla 2</b>	<i>Operacionalización de la variable dependiente</i> .....	35
<b>Tabla 3</b>	<i>Metodología de la investigación</i> .....	37
<b>Tabla 4</b>	<i>Parámetros del proceso de compresión de los motores de automóvil</i> .....	70
<b>Tabla 5</b>	<i>Valores de funcionamiento de los inyectores</i> .....	85
<b>Tabla 6</b>	<i>Valores de funcionamiento sensor MAP</i> .....	93
<b>Tabla 7</b>	<i>Valores de funcionamiento del sensor MAF</i> .....	95
<b>Tabla 8</b>	<i>Ejemplo de valores en el cable de retorno del sensor MAF</i> .....	96
<b>Tabla 9</b>	<i>Valores de funcionamiento</i> .....	98
<b>Tabla 10</b>	<i>Valores en cableado del sensor TPS</i> .....	100
<b>Tabla 11</b>	<i>Valores en cableado del sensor WTS</i> .....	104
<b>Tabla 12</b>	<i>Características del motor</i> .....	106
<b>Tabla 13</b>	<i>Valores de compresión</i> .....	109
<b>Tabla 14</b>	<i>Valores exponentes politrópico</i> .....	119
<b>Tabla 15</b>	<i>Valores coeficiente de variación molecular</i> .....	121
<b>Tabla 16</b>	<i>Interpolación de temperatura de combustión</i> .....	122
<b>Tabla 17</b>	<i>Características del material</i> .....	127
<b>Tabla 18</b>	<i>Valores de ingreso en ductos rectos</i> .....	136
<b>Tabla 19</b>	<i>Relación de velocidades a diferentes cargas</i> .....	140
<b>Tabla 20</b>	<i>Flujos máscicos y volumétricos a diferentes cargas</i> .....	141
<b>Tabla 21</b>	<i>Relación de velocidades a diferentes cargas</i> .....	146
<b>Tabla 22</b>	<i>Flujos máscico y volumétrico a diferentes cargas</i> .....	147
<b>Tabla 23</b>	<i>Relación de velocidades a diferentes cargas</i> .....	152
<b>Tabla 24</b>	<i>Flujos máscico y volumétrico a diferentes cargas</i> .....	153
<b>Tabla 25</b>	<i>Montaje del múltiple de admisión e ITB</i> .....	166

<b>Tabla 26</b> <i>Montaje del sistema de alimentación de gasolina</i> .....	168
<b>Tabla 27</b> <i>Pin Out MS3, Connector 1</i> .....	171
<b>Tabla 28</b> <i>Pin Out MS3, Connector 2</i> .....	172
<b>Tabla 29</b> <i>Pin Out MS3, Connector 3</i> .....	173
<b>Tabla 30</b> <i>Elaboración del arnés</i> .....	174
<b>Tabla 31</b> <i>Proceso para programar la MS3</i> .....	181
<b>Tabla 32</b> <i>Proceso para la obtención de datos</i> .....	187
<b>Tabla 33</b> <i>Valores de potencia y torque del motor 4G13 con su sistema estándar</i> .....	190
<b>Tabla 34</b> <i>Valores de potencia y torque del motor 4G13 con sistema SFI</i> .....	196
<b>Tabla 35</b> <i>Recursos humanos</i> .....	206
<b>Tabla 36</b> <i>Recursos tecnológicos</i> .....	207
<b>Tabla 37</b> <i>Recursos materiales</i> .....	207
<b>Tabla 38</b> <i>Costo neto del proyecto</i> .....	209

## Índice de ecuaciones

<b>Ecuación 1</b> <i>Potencia</i> .....	55
<b>Ecuación 2</b> <i>Torque o par motor</i> .....	57
<b>Ecuación 3</b> <i>Consumo específico de combustible y par</i> .....	59
<b>Ecuación 4</b> <i>Renovación de la carga</i> .....	61
<b>Ecuación 5</b> <i>Dimensiones del múltiple</i> .....	62
<b>Ecuación 6</b> <i>Velocidad del pistón</i> .....	62
<b>Ecuación 7</b> <i>Superficie del pistón</i> .....	63
<b>Ecuación 8</b> <i>Sección del conducto</i> .....	63
<b>Ecuación 9</b> <i>Diámetro del conducto</i> .....	63
<b>Ecuación 10</b> <i>Longitud del conducto</i> .....	64
<b>Ecuación 11</b> <i>Par motor</i> .....	64
<b>Ecuación 12</b> <i>Masa de aire en la admisión</i> .....	65
<b>Ecuación 13</b> <i>Carga del cilindro</i> .....	66
<b>Ecuación 14</b> <i>Flujo volumétrico</i> .....	66
<b>Ecuación 15</b> <i>Flujo másico</i> .....	66
<b>Ecuación 16</b> <i>Presión al final de la admisión</i> .....	67
<b>Ecuación 17</b> <i>Coeficiente de amortiguación</i> .....	67
<b>Ecuación 18</b> <i>Coeficiente de amortiguación</i> .....	68
<b>Ecuación 19</b> <i>Variación de temperatura</i> .....	69
<b>Ecuación 20</b> <i>Presión de compresión</i> .....	69
<b>Ecuación 21</b> <i>Temperatura de compresión</i> .....	71
<b>Ecuación 22</b> <i>Presión de explosión</i> .....	71
<b>Ecuación 23</b> <i>Presión de explosión</i> .....	72
<b>Ecuación 24</b> <i>Temperatura al final de expansión</i> .....	72
<b>Ecuación 25</b> <i>Trabajo neto</i> .....	73

<b>Ecuación 26</b> <i>Cantidad de calor suministrado</i> .....	73
<b>Ecuación 27</b> <i>Cantidad de calor extraído</i> .....	73
<b>Ecuación 28</b> <i>Ecuación de pérdida de energía</i> .....	76
<b>Ecuación 29</b> <i>Pérdida por dilatación súbita</i> .....	77
<b>Ecuación 30</b> <i>Pérdida por dilatación gradual</i> .....	79
<b>Ecuación 31</b> <i>Radio de línea central del conducto</i> .....	81
<b>Ecuación 32</b> <i>Relación de la longitud equivalente</i> .....	81
<b>Ecuación 33</b> <i>Coefficiente de resistencia</i> .....	81
<b>Ecuación 34</b> <i>Pérdidas de energía por la curva en sección</i> .....	81
<b>Ecuación 35</b> <i>Pérdida total de energía</i> .....	82
<b>Ecuación 36</b> <i>Ecuación de estado</i> .....	82
<b>Ecuación 37</b> <i>Ecuación de estado en base a la densidad</i> .....	83

## Resumen

El presente trabajo investigativo se centró en la optimización de los parámetros característicos como: torque potencia, consumo de combustible y reducción de los gases contaminantes producidos en la combustión del motor del Mitsubishi Lancer 4G13. Inicialmente el vehículo en su versión estándar contaba con el sistema de admisión de aire convencional y alimentación de combustible por carburador, al implementar el sistema de inyección secuencial tiene como finalidad en mejorar los parámetros característicos antes mencionados. La investigación inicia con pruebas de dinamómetro, emisión de gases y consumo de combustible en base a la norma DIN 70030 para establecer el estado del motor sin realizar ninguna modificación, a continuar con la medición de espacio disponible, ubicación de los componentes mecánicos y electrónicos que se implementaron: múltiple de admisión, sistema de alimentación de combustible, ECU reprogramable, sensores y actuadores. Al finalizar la selección e implementación de los componentes mencionados, se procedió a programar la computadora MegaSquirt 3V, en pruebas de ruta tanto en ciudad y avenidas buscando un equilibrio entre consumo de gasolina y aumento de la potencia, conjuntamente con las pruebas de ruta se utilizó la Wideband colocado en el tubo de escape, realiza de manera más rápido y efectiva que la función del sensor de oxígeno durante la programación. Al finalizar el proyecto se procede a realizar las mismas realizadas en un inicio, para realizar una comparación de las 4 pruebas obteniendo un resultado favorable.

Palabras Claves:

- **COMPUTADORA PROGRAMABLE**
- **INYECCIÓN ELECTRÓNICA**
- **BOBINAS INDEPENDIENTES**

### **Abstract**

The present investigative work focused on the optimization of the characteristic parameters such as: power torque, fuel consumption and reduction of polluting gases produced in the combustion of the Mitsubishi Lancer 4G13 engine. Initially the vehicle in its standard version had the conventional air intake system and fuel supply by carburetor, by implementing the sequential injection system it aims to improve the characteristic parameters mentioned above. The investigation begins with dynamometer, gas emission and fuel consumption tests based on the DIN 70030 standard to establish the state of the engine without making any modifications, to continue with the measurement of available space, location of the mechanical and electronic components that were implemented: intake manifold, fuel supply system, reprogrammable ECU, sensors and actuators. Upon completion of the selection and implementation of the aforementioned components, the MegaSquirt 3V computer was programmed, in road tests both in the city and on avenues, seeking a balance between gasoline consumption and increased power, together with the road tests. The Wideband placed on the exhaust pipe, performs faster and more effectively than the function of the oxygen sensor during programming. At the end of the project, the same ones carried out at the beginning are carried out, to make a comparison of the 4 tests, obtaining a favorable result.

Keywords:

- **PROGRAMMABLE COMPUTER**
- **ELECTRONIC INJECTION**
- **INDEPENDENT COILS**

## Capítulo I

### 1. Marco metodológico de investigación

#### 1.1 Antecedentes

El sistema de alimentación de motores a gasolina por medio de un carburador es un sistema ya discontinuado. Lo cual encamina a buscar un mejoramiento tecnológico y sistema de alimentación de combustible, el cual tiene mejores prestaciones del sistema de carburador. (Guachamin, 2016, pág. 16)

La industria automotriz ha ido evolucionando en base a mejorar el consumo de combustible y disminuir la contaminación ambiental, generados por los gases contaminantes mal combustionados por los motores carburados.

En el caso de un sistema electrónico ayuda al paso de aire en marcha mínima, para trabajar con un rango de revoluciones muy bajo, además de que el diseño del múltiple de admisión hace que llegue a cada cilindro la misma cantidad de aire, lo que hace que la mezcla estequiométrica sea aprovechada de una mejor manera” (Guachamin, 2016, pág. 23)

Utrera & Alangasi (2014) indica que el remplazo de elementos mecánicos a electrónicos mejora el consumo de gasolina, debido a que la inyección electrónica atomiza el combustible, por su aumento de presión desde la bomba hasta los inyectores los cuales pulveriza el combustible a alta presión, mejorando la compresión, teniendo un mayor rendimiento con menos combustible.

“Todos los sistemas en la actualidad realizan la inyección en el múltiple de admisión, delante de la válvula, con el mismo caudal y la misma pulverización para realizar una buena mezcla con el aire de entrada”(Quintero, 2020).

La ubicación de los inyectores es primordial en el desempeño del motor, debido a que el ángulo de ataque de pulverización el cual debe apuntar al centro de la cámara de combustión, mejorando el flujo de la mezcla aire-combustible solucionando los problemas de encendido en frío que son comunes en carburadores.

Según (Palacios, 2018) indica que: El diseño del múltiple de admisión al vehículo Suzuki Forma 1.3 mediante el software OPENWAM, estableció que el torque del vehículo con el múltiple original es de 68.39 kW a 6500 rpm y para el múltiple diseñado 75.03 kW a 6500 rpm, en pruebas dinamométricas estableció que el torque y la potencia, incrementa un 16.06% y 16.58% respectivamente” con esto se asegura que al mejorar el diseño estructural del múltiple de admisión se obtendrá mejoras en el rendimiento del motor.

Además (Pérez & Pérez, 2015) indica que: La selección de un sistema de inyección electrónica se debe hacerlo mediante un análisis de eficiencia y costo, se realiza la modificación del múltiple de admisión donde estarán ubicados los inyectores, la instalación de los elementos electrónicos como sensores y actuadores, la instalación de líneas de alimentación de combustible y la instalación del sistema eléctrico, se realizan varias programaciones con la finalidad de obtener una mejor eficiencia en el consumo de combustible, disminución de vibraciones y un aumento de potencia.

## 1.2 Planteamiento del problema

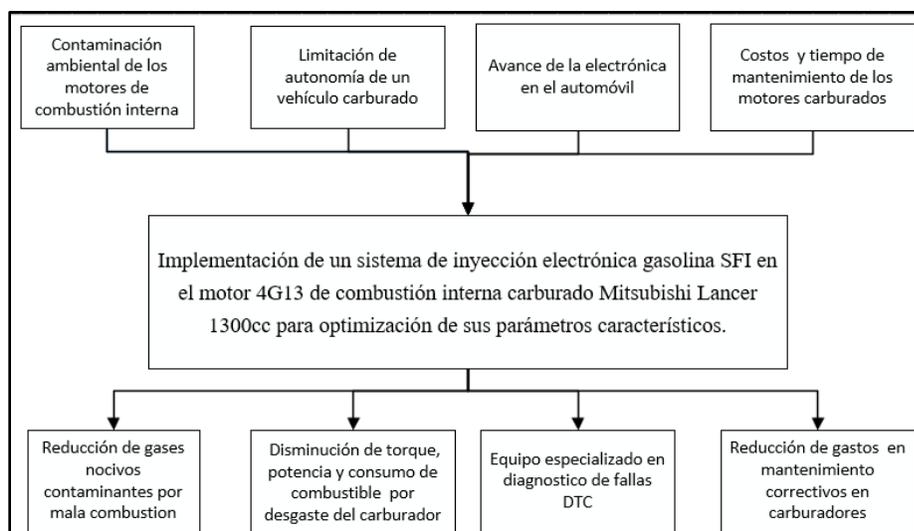
La evolución de los sistemas automotrices hacen que los vehículos antiguos queden sin uso ya que son cambiados por vehículos nuevos, debido a sus mejores prestaciones y bajo índice de contaminación que generan, debido a una combustión más controlada de acuerdo a los requerimientos de la máquina y el conductor, con respecto al mantenimiento de este tipo de vehículos es más complejo, por el mismo hecho del mantenimiento periódico que se debe realizar al carburador, y dependiendo de la altura al nivel del mar, el cual el vehículo carburado debe ser calibrado para que este pueda circular sin complicaciones y tenga una combustión eficaz.

Con el paso del tiempo se desarrollaron diferentes métodos que ayudan a mejorar tanto la potencia como el torque en vehículos para competencia, trabajo y movilización, estos motores han profundizado en el avance electrónico en el control de ingreso de aire y combustible al cilindro del motor, con ello pudieron dosificar de mejor manera el combustible necesario según requerimientos del conductor sin la necesidad de realizar un cambio de elementos del motor (carburador), logrando así una mejor combustión reduciendo la cantidad de gases contaminantes al ecosistema.

Todos estos avances se logran con ayuda de la tecnología, con la cual se realiza diseños y pruebas a diferentes elementos, previos a su construcción y aplicación, con ayuda de este tipo del CAM/CAD se puede realizar simulaciones que brindan los diferentes datos que se analizaran para que sean óptimos y cumplan los requerimientos planteados antes de su construcción.

**Figura 1**

*Esquema planteamiento del problema*



*Nota.* Esquema espina de pescado, ideas ordenadas y resumidas de la elaboración del proyecto.

### 1.3 Descripción resumida del proyecto

Se desarrolló el proyecto con la implementación del sistema de inyección electrónica gasolina SFI, en el motor 4G13 de combustión interna carburado Mitsubishi lancer 1300 cc, en la optimización de los parámetros característicos se considera los siguientes aspectos:

Se desarrolló la recopilación de información técnico mecánica del motor Mitsubishi Lancer 4G13 necesaria para el desarrollo de la idea central, la cual va a ser únicamente de fuentes confiables como Tesis, manuales, fichas técnicas, libros, artículos publicados en revistas.

Se desarrolló pruebas dinamométricas y emisiones de gases con el sistema implementado, se comparó los valores entre el sistema carburado y el sistema electrónico.

Se diseñó e implementó el múltiple de admisión con el uso de software CAD/CAM (SolidWorks Estudiantil), el cual permite obtener mejoras en los parámetros característicos del motor de combustión interna.

Se instaló, se puso a punto y se obtuvo parámetros característicos del motor Mitsubishi 4G13 con el sistema de control electrónico.

Se diseñó y seleccionó e implementó los subsistemas de control electrónico, hidráulico, aire y autodiagnóstico del sistema de inyección electrónico de combustible.

Finalmente se analizó las mejoras obtenidas con la implementación del sistema SFI, para determinar las ganancias obtenidas.

#### **1.4 Justificación e importancia**

El avance electrónico ha impuesto avances importantes en el automóvil. El mejoramiento de equipos y dispositivos los cuales mejoran los motores de combustión interna, la implementación de la inyección electrónica ha demostrado un mejor desempeño, a comparación de los motores con sistema a carburador.

Las instalaciones, adaptaciones se realizaron con gran efectividad, que lograron devolver la potencia y torque perdidos por los años por uso continuo del automóvil, debido a esto se considera oportuno llevar a cabo la implementación del sistema de inyección electrónica al motor 4G13.

Se tiene la finalidad de reducir los costos y tiempo de mantenimiento correctivo, del sistema de alimentación. Cada 3 meses hay que calibrar el carburador, además en las mañanas presenta dificultades al arrancar en frío. De la misma forma reducir el consumo de gasolina del vehículo, en comparación de la inyección electrónica es más ahorrador, al mismo tiempo a nivel nacional el precio de la gasolina está en constante incremento, lo que representa un gasto extra en el vehículo.

Finalmente esta investigación contribuye a que personas interesadas en implantar la inyección electrónica a vehículos carburados antiguos, y más no ser desechados, ayudando así a disminuir la contaminación por chatarra y por gases de motores que tienen una combustión irregular.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 General**

- Implementar el sistema de inyección electrónica gasolina SFI en el motor de combustión interna 4G13 Mitsubishi Lancer 1300cc para optimización de sus parámetros característicos.

### **1.5.2 Específicos**

- Analizar parámetros característicos del motor Mitsubishi Lancer, para la implementación del sistema de inyección electrónica.
- Diseñar e implementar un múltiple de admisión, que permita obtener el máximo rendimiento del motor de combustión interna.
- Seleccionar elementos electro- mecánicos, para el control de inyección de combustible.
- Realizar diferentes adecuaciones mecánicas y eléctricas previo a la instalación

del sistema de inyección electrónico.

- Instalar y poner a punto el motor 4G13 con el sistema de inyección electrónica
- Desarrollar pruebas características del motor con el sistema implementado.
- Realizar comparaciones de desempeño del motor con carburador y con inyección electrónica.

## **1.6 Metas**

- Mejorar consumo de combustible en 15%, potencia en 25 % y torque en 5% al implementar el sistema de inyección electrónica.
- Reducir la emisión de gases contaminantes hasta un 25% con la implementación del sistema de inyección electrónica.

## **1.7 Hipótesis**

¿Al implementar el sistema de alimentación electrónico SFI en el motor 4G13, Mitsubishi Lancer 1300cc, se incrementará los parámetros característicos del motor de combustión interna, y la disminución de CO<sub>2</sub> emitido por la combustión de la mezcla estequiométrica?

## 1.8 Variables de investigación

### 1.8.1 Variables independientes

Sistema de inyección electrónica gasolina secuencial SFI

**Tabla 1**

*Operacionalización de la variable independiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
<b>Inyección electrónica secuencial el cual basa su funcionamiento en mediciones de régimen del motor.</b>	Entradas	Revoluciones por minuto	RPM	Medición y pruebas de laboratorio	Protocolo de pruebas
		Carga del motor	KPa	Medición y pruebas de laboratorio	Protocolo de pruebas
		Temperatura del refrigerante	°C	Medición y pruebas de laboratorio	Protocolo de pruebas
		Temperatura del aire de admisión	g/s	Medición y pruebas de laboratorio	Protocolo de pruebas
		Flujo de masa de aire	g/s	Medición y pruebas de laboratorio	Protocolo de pruebas
		Presión absoluta del múltiple de	k Pas/s	Medición y pruebas de laboratorio	Protocolo de pruebas
		Posición del acelerador	%	Medición y pruebas de laboratorio	Protocolo de pruebas

### 1.8.2 Variable dependiente:

Parámetros característicos del motor de combustión interna.

**Tabla 2**

Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos	
Son los indicadores del desempeño de un motor de combustión interna.	Curvas características	Torque	Nm	Medición	Protocolo de pruebas	
		Potencia	HP	Medición	Protocolo de pruebas	
	Consumo de Combustible	Consumo de Combustible	Gal – V	Medición	Protocolo de pruebas	
	CO <sub>2</sub>			%	Medición	Protocolo de prueba
				%	Medición	Protocolo de pruebas
				%	Medición	Protocolo de pruebas
				ppm	Medición	Protocolo de pruebas
				%	Medición	Protocolo de pruebas
	NO <sub>x</sub>			%	Medición	Protocolo de pruebas

## 1.9 Metodología de desarrollo del proyecto

### 1.9.1 Método deductivo.

Este método se enfocó en mejorar adecuadamente parámetros característicos del motor, emisiones de gases y consumo de combustible, se enfoca en analizar dichos parámetros que se generan bajo la influencia de un nuevo múltiple de admisión, e implementado un sistema dosificador de combustible electrónico SFI en el vehículo.

### **1.9.2 Método inductivo.**

Mediante este método se partió de lo particular al general, el cual sirvió en la selección de los componentes del sistema SFI, tomando en cuenta los parámetros característicos del motor 4G13, y la disponibilidad del mercado

### **1.9.3 Método analítico.**

Mediante este método se enfocó en la implementación de un sistema de inyección secuencial este compone varios elementos los cuales cumplen una función específica en su óptimo funcionamiento, por ello se separará cada componente para un análisis más detallado en cuanto a conocer las magnitudes físicas, eléctricas, etc. Con las que trabaja dicho componente y como aprovecharlo al obtener máximos resultados en cuanto a torque, potencia y bajo consumo de combustible.

### **1.9.4 Método de síntesis.**

Este método fue importante en la recopilación de datos resultantes, obtenidos en las pruebas realizadas, bajo el nuevo sistema de inyección electrónica SFI y múltiple de admisión

### **1.9.5 Método experimental.**

Este método fue importante en la modelación del múltiple de admisión, en softwares CAD-CAM, y se realizaron instalaciones eléctricas del sistema de control electrónico de combustible SFI, en la mediciones y pruebas utilizando el analizador de gases, dinamómetro de rodillo y consumo de combustible

### **1.9.6 Método comparativo.**

Este método fue importante, en establecer las variaciones de los parámetros

características del motor Mitsubishi 4G13 1300cc, basándose en datos y mediciones en condiciones estándar y cuando se instale el nuevo sistema de control electrónico SFI y el rediseño del múltiple de admisión.

### 1.9.7 Método de observación directa

Se utilizó en la verificación visual a las variaciones de los parámetros característicos del motor, la conexión e instalación de los componentes electrónicos como: sensores y actuadores que influyen en el comportamiento del motor.

**Tabla 3**

*Metodología de la investigación*

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
<b>Deductivo</b>	Este método se enfocó en mejorar adecuadamente parámetros característicos del motor, emisiones de gases y consumo de combustible, se enfoca en analizar dichos parámetros que se generan bajo la influencia de un nuevo múltiple de admisión, e implementado un sistema dosificador de combustible electrónico SFI en el vehículo de marca Mitsubishi Lancer 1994.	Dinamómetro	
		Múltiple de admisión	
		Osciloscopio	
		Motor Mitsubishi Lancer 1994	Laboratorio de motores de combustión
		Laptop	interna
		Sensores	ESPE-L
		Computadora automotriz	
		Actuadores	

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
<b>Inductivo</b>	Mediante este método se partió de lo particular al general, el cual sirvió en la selección de los componentes del sistema SFI, tomando en cuenta los parámetros característicos del motor 4G13, y la disponibilidad del mercado	Múltiple de admisión Osciloscopio Motor Mitsubishi Lancer 1994 Componentes electrónicos SFI	Laboratorio de motores de combustión interna ESPE-L
	Este método se enfocó en la implementación de un sistema de inyección secuencial este compone varios elementos los cuales cumplen una función específica para su óptimo funcionamiento, por ello se separará cada componente al realizar un análisis más detallado en cuanto a conocer las magnitudes físicas, eléctricas, etc. Con las que trabaja dicho componente y como aprovecharlo al obtener máximos resultados en cuanto a torque, potencia y bajo consumo de combustible.	Motor Mitsubishi Lancer 1994 Computador portátil Dinamómetro Osciloscopio Multímetro	Laboratorio de motores de combustión interna ESPE-L

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
<b>Síntesis</b>	Este método fue importante en la recopilación de datos resultantes, obtenidos en las pruebas realizadas, bajo el nuevo sistema de inyección electrónica SFI y múltiple de admisión	Motor Mitsubishi Lancer 1994 Analizador de gases Dinamómetro de rodillos Laptop	Laboratorio de motores de combustión interna ESPE-L
<b>Experimental</b>	Este método fue importante en la modelación del múltiple de admisión, en softwares CAD-CAM, y se realizaron instalaciones eléctricas del sistema de control electrónico de combustible SFI, en la mediciones y pruebas utilizando el analizador de gases, dinamómetro de rodillo y consumo de combustible	Motor Mitsubishi Lancer 1994 Office Software CDF, SolidWorks Multímetro Analizador de gases Dinámetro	Laboratorio de motores de combustión interna ESPE-L
<b>Comparativo</b>	En la investigación este método es importante, en establecer las variaciones de los parámetros características del motor Mitsubishi 4G13 1300cc, basándose en datos y mediciones en condiciones estándar al nuevo SFI	Dinamómetro Motor Mitsubishi Lancer Analizador de gases Osciloscopio	Laboratorio de motores de combustión interna ESPE-L

<b>Metodología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Equipo</b>	<b>Laboratorio</b>
	Se realizó una verificación visual a las variaciones de los parámetros característicos del motor, la conexión e instalación de los componentes electrónicos como: sensores y actuadores que influyen en el comportamiento del motor.	Dinamómetro Motor Mitsubishi Lancer Analizador de gases Osciloscopio	Laboratorio de motores de combustión interna ESPE-L
<b>Observación directa</b>			

## Capítulo II

### 2. Marco teórico

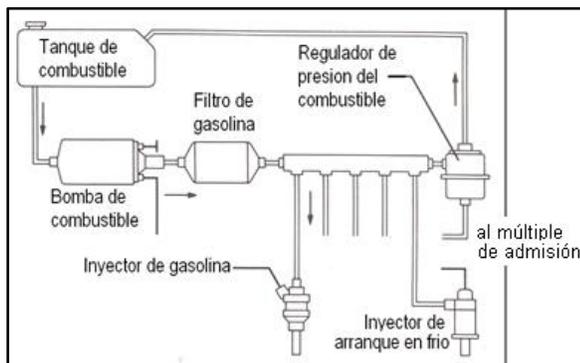
#### 2.1 Sistema de alimentación de combustible

Según Pérez & Pérez (2015) menciona que, “Este sistema es el encargado de bombear el combustible desde el tanque para ser distribuido a los inyectores o carburador a través de la tubería de entrega” (pág. 45).

El suministro de combustible es primordial en el funcionamiento del motor, partiendo la dosificación desde la bomba de combustible hasta los inyectores, un punto primordial en el suministro de combustible es el grado de limpieza del combustible, donde los filtros cumplen un papel importante en la dosificación.

#### Figura 2

*Componentes del sistema de alimentación de combustible gasolina*



*Nota.* La figura representa los elementos del sistema SFI. Adapto alimentación de combustible a gasolina, de Simba, 2015 (<https://mecanicabasicacr.com/inyeccion/medir-o-comprobar-presion-de-combustible.html/>)

El sistema de alimentación tiene los siguientes componentes:

- Tanque de combustible
- Bomba de gasolina
- Filtro de gasolina
- Inyectores
- Carburador
- Línea de combustible
- Múltiple de admisión

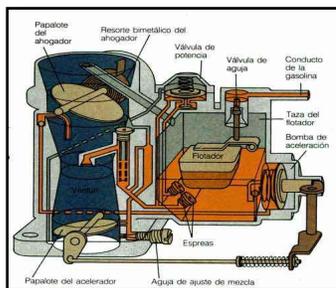
## 2.1 Sistema de alimentación por carburador

Este sistema mezcla de forma proporcional el aire combustible, que es suministrado equitativamente en cada cilindro, el cual realiza la combustión de forma adecuado.

Casado et al. (2009) indican que “El carburador debe ser capaz de mantener la mezcla aire combustible adecuada para los distintos regímenes de funcionamiento de motor” (pág. 98).

### Figura 3

*Sistema de alimentación por carburador*



*Nota.* Se presenta el carburador y sus componentes internos. Adaptada función del carburador, de Menma, 2018 (<https://como-funciona.co/un-carburador/>).

La mezcla óptima que busca el carburador es de 14.7 partes de aire por cada parte de gasolina. (Buendia, 2018)

En consecuencia, la relación 14.7:1 es conocido como mezcla estequiométrica, los cuales pueden variar, dependiendo de la cantidad de aire – gasolina, dando como resultado una mezcla pobre o rica.

Añadiendo a lo anterior cuando el motor trabaja con una mezcla pobre, consume menos combustible y reduce la cantidad de contaminación, sin embargo, esto genera una disminución en la potencia del motor y aumentando la auto detonación, dañando los pistones a un futuro.

Por último, cuando el motor cuando el motor trabaja con una mezcla rica, se invierten la potencia y consumo de combustible es decir aumentan.

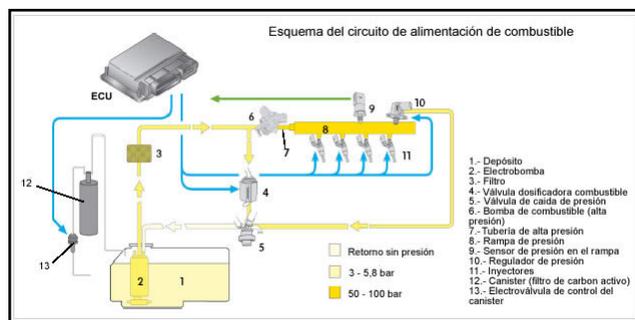
## **2.2 Sistema de alimentación por inyección electrónica**

La inyección electrónica es uno de los mejores sistemas de dosificación de combustible que se ha creado, cumple con los mismos principios de los sistemas antiguos de carburador con la diferencia de que se basa en la electrónica para su funcionamiento (Araujo & Cardenas, 2010, pág. 55).

En la actualidad la inyección electrónica ha remplazado al carburador, por su contante avance tecnológico en el campo automotriz, hoy en día los motores presentan más exigencias en los sistemas de control, de manera que buscan reducir las emisiones contaminantes.

## Figura 4

### Sistema de inyección electrónica



*Nota.* Se presenta los componentes de un sistema de inyección electrónica. Adaptado sistema de inyección electrónica, de Menma, 2018 (<https://como-funciona.co/una-inyeccion-de-combustible-sistema/>).

Armas & Vallejo (2013) afirman lo siguiente:

La inyección electrónica se basa en la preparación de la mezcla por medio de la regulación electrónica de la inyección de combustible que permite proporcionar a cada cilindro la cantidad exacta de combustible necesario, lo que representa una mejor utilización y consumo y al mismo tiempo se logra mayor potencia y rendimiento del motor (pág. 64).

Por esta razón, el sistema de inyección electrónico es más eficiente, además de ha demostrado mediante pruebas y ensayos que el ahorro de combustible es de 11 a 16 % frente a uno con carburador. Por otra parte, se puede aumentar la potencia del motor, modificando el múltiple de admisión permitiendo un mejor llenado de los cilindros, dando como resultado el aumento de torque y potencia del motor.

## 2.3 Tipos de sistemas de inyección electrónica

“La clasificación de los sistemas de inyección electrónica se puede clasificar por el número de inyectores, por la ubicación del inyector, por el sincronismo de la inyección y por el sistema de control y accionamiento de los inyectores” (Rueda, 2006, pág. 98).

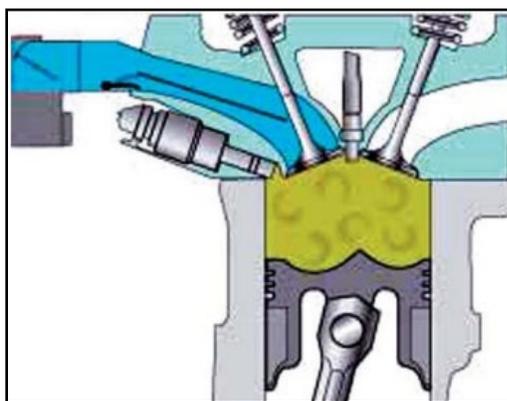
### 2.3.1 Ubicación del inyector

a) **Inyección Directa:** “El inyector introduce el combustible directamente en la cámara de combustión. Este sistema de alimentación es el más novedoso y se está el motor GDI de Mitsubishi o el motor IDE de Renault” (Cabrera & Cifuentes, 2009, pág. 25).

La inyección directa se conoce como GDI, los inyectores suministran el combustible en el interior de cada cilindro, llevando un control más exacto en la cantidad de gasolina que es suministrada reduciendo hasta un 20 % en el consumo de combustible.

### Figura 5

*Inyección directa de gasolina*

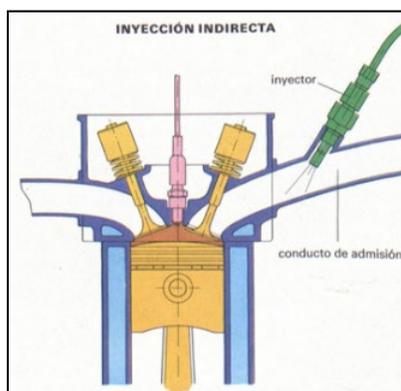


*Nota.* La figura representa como el inyector pulveriza el combustible en la cámara de combustión. Adaptada de inyección directa de combustible, de INDAVE, 2011.

**b) Inyección indirecta (MIP):** “El combustible es inyectado en el colector de admisión, encima de la válvula de admisión. Es la más usada actualmente en la gran mayoría de vehículos” (Paredes, 2011, pág. 6).

### Figura 6

*Inyección indirecta gasolina*

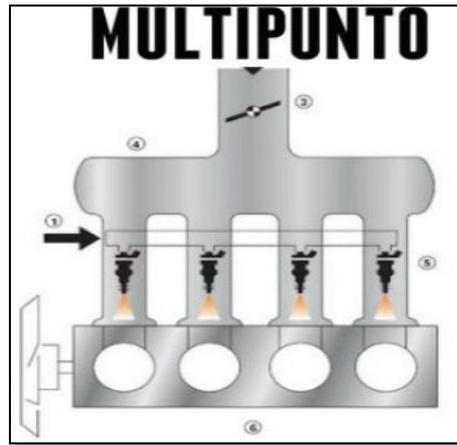


*Nota.* El inyector pulveriza el combustible en la múltiple admisión y se mezcla con el aire antes de llegar a la cámara de combustión. Adaptado de inyección, de MOTORGIGA 2014 (<https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/inyeccion-definicion-significado/gmx-niv15-con194509.htm>).

### 2.3.2 Según el número de inyectores

**a) Multipunto:** “El sistema de inyección multipunto (MPI), tiene un inyector por cada cilindro y cada inyector es el encargado de dosificar el combustible en el colector de admisión “(Paredes, 2011, pág. 8).

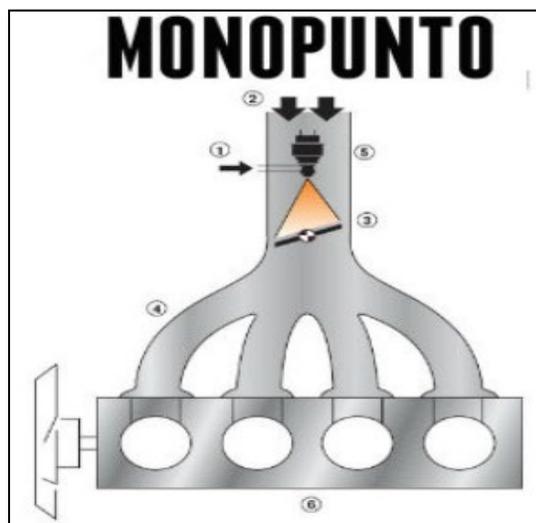
Al implementar un inyector a cada cilindro, se regula la cantidad de gasolina en la combustión, convirtiéndolo en un sistema más eficiente, también hay que tomar en cuenta la inclinación de los inyectores, donde la pulverización sea más eficaz.

**Figura 7***Inyección multipunto*

*Nota.* La inyección multipunto hay un inyector por cada cilindro. Adaptado inyección multipunto, de Motorpasión, 2017 ([www.motorpasion.com.mx/tecnologia/inyeccion-multipunto-vs-inyeccion-directa-en-realidad-son-tan-diferentes](http://www.motorpasion.com.mx/tecnologia/inyeccion-multipunto-vs-inyeccion-directa-en-realidad-son-tan-diferentes)).

**b) Mono punto:** “Hay solamente un inyector, que introduce el combustible en el colector d admisión, antes de la mariposa de gases. Es la más usada en vehículos de turismo de baja cilindrada que cumplen normas de anti polución” (Cabrera & Cifuentes, 2009, pág. 27).

La mezcla de aire combustible se realiza en el colector de admisión, tiene una gran similitud al carburador, pero su principal diferencia es el aumento de presión de pulverización.

**Figura 8***Inyección mono punto*

*Nota.* En la inyección mono punto hay solo un inyector para todos los cilindros. Adaptado inyección Mono punto, de Motorpasion, 2017 ([www.motorpasion.com.mx/tecnologia/inyeccion-multipunto-vs-inyeccion-directa-en-realidad-son-tan-diferentes](http://www.motorpasion.com.mx/tecnologia/inyeccion-multipunto-vs-inyeccion-directa-en-realidad-son-tan-diferentes)).

### 2.3.3 Según el tipo de inyección.

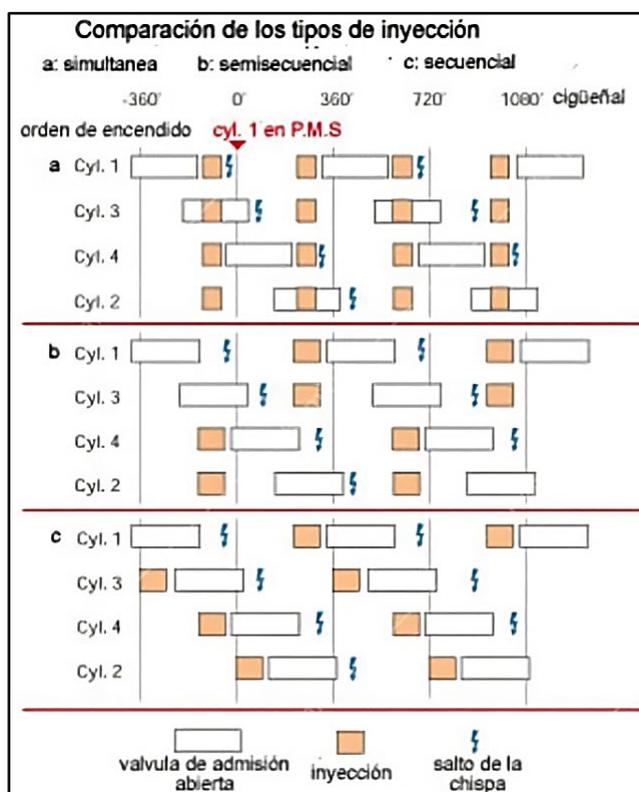
- a) **Inyección continua:** Los inyectores pulverizan el combustible de forma continua en los múltiple de admisión, esta pulverización no coincide con la apertura de la válvula de admisión, es decir la mezcla se acumula en el múltiple hasta su ingreso a la cámara de combustión.
- b) **Inyección intermitente:** Los inyectores pulverizan el combustible de forma intermitente, bajo órdenes de la ECU.

c) **Inyección secuencial:** El inyector pulveriza el combustible cuando la válvula de admisión se abre, es decir, los inyectores funcionan individualmente por órdenes de la ECU.

d) **Inyectores semisequenciales:** los inyectores pulverizan el combustible en los cilindros cuando la válvula de admisión se abre, es decir los inyectores trabajan de dos en dos.

**Figura 9**

*Comparación de los sistemas de inyección*



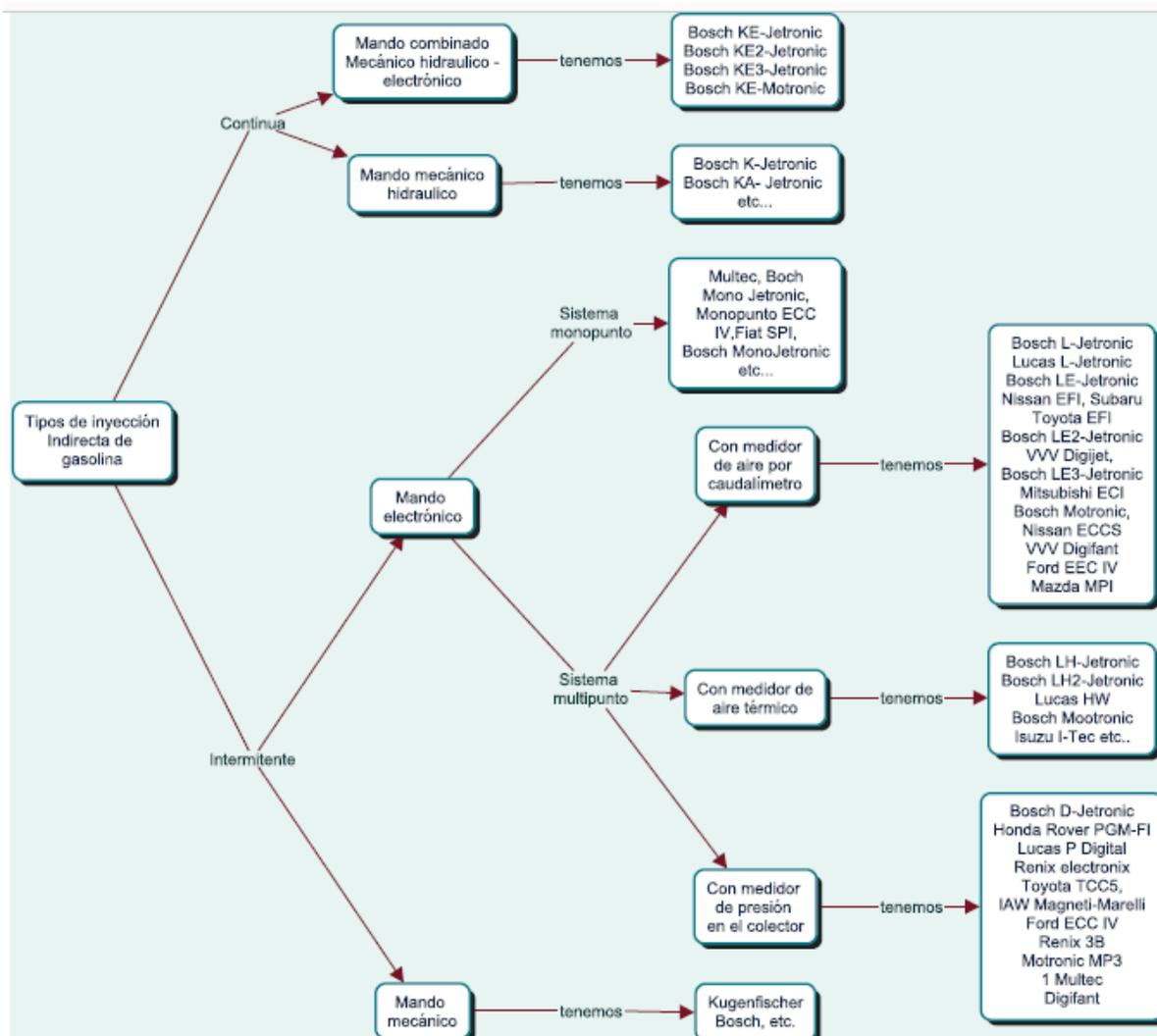
*Nota.* La figura representa los tipos de inyección que puede tener un vehículo. Adaptado de un sistema de inyección programable, por Cabrera & Cifuentes, 2009.

### 2.3.4 Según el sistema de inyecciones

En la figura 10, se expone todos los sistemas que existen en la inyección indirecta

**Figura 10**

*Tipos de inyección ndirecta de gasolina*



*Nota.* La figura representa los tipos de inyección indirecta que un vehículo a gasolina tiene.

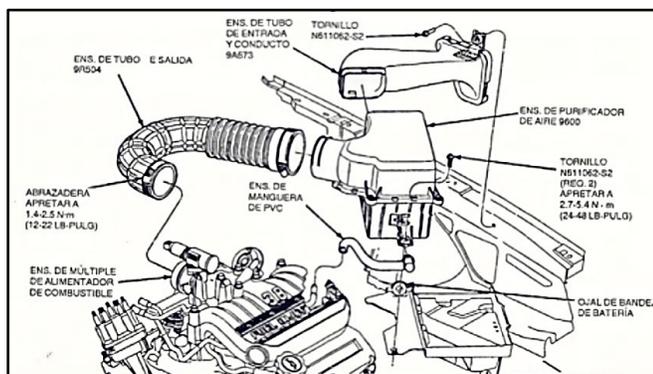
## 2.4 Sistema de admisión de aire.

Pérez L. (2020) describe que el sistema de admisión de aire está formado por todas las piezas destinadas a guiar o conducir el aire del exterior del motor hasta los cilindros.

El sistema de admisión, además de entregar aire fresco – limpio al motor, tiene otras funciones como: análisis térmico y de fluidos los cuales intervienen directamente en el desempeño del motor. (pág. 35)

### Figura 11

#### Partes del sistema de admisión



*Nota.* Se presenta los elementos de admisión del aire. Tomada de sistema de admisión, por Blogger, 2014 (<http://sistemadmsiair.blogspot.com/2014/06/sistema-de-admsion-el-sistema-de.html>).

Los componentes del sistema de admisión son:

- Entrada – Toma de aire
- Filtro de aire
- Múltiple de admisión
- Válvula de admisión
- Cuerpo del acelerador o cuerpo de mariposa

### 2.4.1 Filtro de aire

El filtro de aire es un receptáculo donde retiene las impurezas como: polvo y partículas dañinas absorbidas por el motor, estas partículas son retenidas en las paredes del filtro impidiendo de desgaste de los componentes del motor. También el filtro de aire, reduce el sonido que existe en la admisión.

WEGA (2017) indica que el filtro de aire está diseñado para proteger el motor de la contaminación directa producida por contaminantes externos. La admisión de aire de un motor es de entre 200 y 500 m<sup>3</sup> de aire por hora, dependiendo de su capacidad cúbica.

#### Figura 12

*Filtro de aire de alto flujo*



*Nota.* Filtro de alto flujo de aire usado en vehículos preparados con ITBs.

Si el filtro de aire está sucio, pueden suceder tres cosas: reducción de potencia del motor, disminución de la respuesta al acelerador y aumento del desgaste del motor. (WEGA, 2017)

Por estos motivos es recomendable realiza cada 15.000 km, debido a que en diferentes ciudades o terrenos en el que se encuentra el vehículo en funcionamiento el índice de polvo aumenta.

#### **2.4.2 ITB**

Armas & Vallejo (2013) indica que la unidad central de inyección o cuerpo de mariposa" es el componente principal de este sistema. Además del inyector, está compuesta por varios dispositivos: mariposa de gases, regulador de presión de combustible, regulador de ralentí, sensor de temperatura de aire, sensor de posición de la mariposa. (pág. 71)

Los ITB controla la entrada de aire que flujo hacia el múltiple de admisión, donde la mariposa se abre o cierra dependiendo de la posición del acelerador, cuando el conductor pise más el acelerador desencadena que la potencia y el torque aumenten.

#### **Figura 13**

*ITB marca KEIHIN*



*Nota.* ITBs usados en el desarrollo del proyecto

En el cuerpo de aceleración está incluido el sensor TPS, trabaja entre 0V a 5V, con la finalidad de que la mariposa esté en la posición óptima, el cual lleve al motor a su máximo desempeño.

### **2.4.3 Múltiple de admisión.**

“El múltiple de admisión es el encargado de dirigir una cantidad igual de la carga de admisión; hacia cada válvula de admisión. Tomando en cuenta que cada válvula estará regulada igual que el resto de válvulas, para permitir que ingrese la misma cantidad de carga a cada cámara de combustión; desarrollando un funcionamiento parejo del motor de combustión interna” (Peñafiel & Zabala, 2017, pág. 22)

#### **Figura 14**

*Múltiple de admisión Mitsubishi Lancer*



*Nota.* Múltiple desmontado del motor del proyecto

## 2.5 Parámetros característicos del MCI

Los tres parámetros característicos del motor como el par, la potencia y el consumo específico indican el estado del motor, los cuales pueden ser positivos o negativos, debido a la pérdida porcentual que se tiene con el transcurso del tiempo.

### 2.5.1 Potencia.

“El trabajo que produce un motor en la unidad de tiempo. La potencia se mide en caballos de vapor (C.V) o en Kilovatios y esta depende de: la cilindrada, la relación de compresión, el número de revoluciones del motor, hasta un límite; el llenado de los cilindros o relación volumétrica” (Ramírez, 2017, pág. 17).

La potencia  $P$  viene dada por el par del motor, además en ocasiones está dada en función de las RPM.

$$P = \frac{T}{t} [W]$$

**Ecuación 1. Potencia**

Donde:

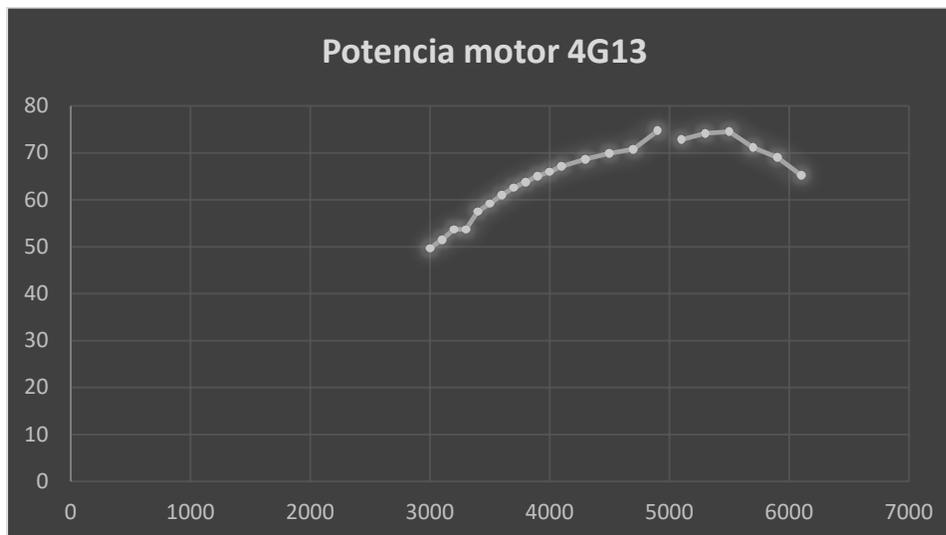
$P$  = Potencia [W]

$T$  = Trabajo [J]

$t$  = tiempo [s]

**Figura 15**

*Curva característica de potencia del motor*



*Nota.* La figura representa el incremento de la potencia del motor cuando aumenta el rpm del motor. Adaptado del proyecto.

### **2.5.2 Torque o par motor**

El torque expresado en Newton metros (Nm), mide la fuerza que es capaz de producir el motor para mover los pistones, la biela y el cigüeñal y con ellos las llantas del automóvil. (Alcivar, 2015)

El par motor la fuerza (F) aplicada sobre la biela, y de la longitud del codo del cigüeñal (d), siendo esta igual a la mitad de la carrera. La fuerza que se aplica el codo del cigüeñal es proporcional a la presión media efectiva sobre el pistón. (Ramírez, 2017, pág. 18)

$$M = F * d \text{ [Nm]}$$

**Ecuación 2 Torque o par motor**

Donde:

$M = \text{Par [Nm]}$

$F = \text{fuerza [N]}$

$d = \text{distancia [m]}$

**Figura 16**

*Curva característica del torque del motor*



*Nota.* La figura representa el incremento del torque del motor cuando aumenta el rpm y llegue a su máximo y vuelva a descender. Adaptado el proyecto.

El punto máximo de torque se relaciona con las RPM, es decir de lo rápido que se realice el proceso de combustión. Cuando las RPM son demasiado lentas, no llega suficiente combustible a los cilindros y la potencia es baja, conforme este proceso se acelera más combustible llega al cilindro y aumenta la fuerza en los pistones, es decir aumenta el torque y la potencia hasta llegar a un punto óptimo. (Castillo & Rojas, Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna

a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático, 2017)

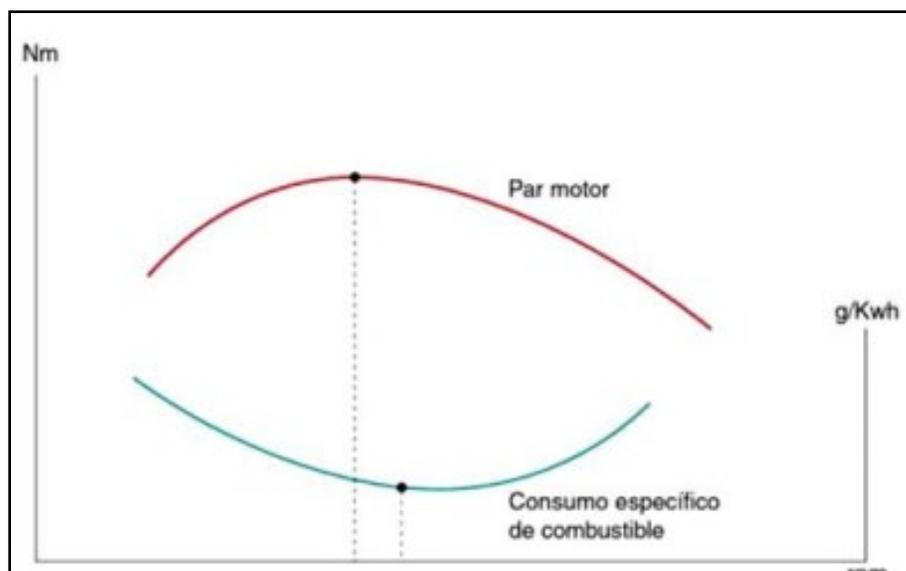
### 2.5.3 Consumo específico de combustible

Es la cantidad de combustible consumido por cada unidad de trabajo desarrollado por el motor.

También se define como la relación que existe entre la masa de combustible consumida y la potencia entregada. Se obtiene mediante pruebas en el banco y se expresa en  $C_s$ , y se mide en g/kW\*h (gramos por kilovatio hora) y en g/CV\*h (gramos por caballo vapor hora) (Palomo & Pilataxi, 2012, pág. 20)

**Figura 17**

*Curva de consumo específico de combustible y par*



*Nota.* El consumo de combustible depende el par motor, a menos par motor el consumo de combustible es mayor. Adaptado de consumo de combustible, por Palomo & Pilataxi, 2012.

Palomo & Pilataxi (2012) indican que el consumo específico de combustible en los motores de cuatro tiempos es mínimo en la zona media de revoluciones. Para regímenes inferiores o superiores el consumo es más elevado.

El número de revoluciones corresponde al par máximo es el punto de referencia a la hora de circular con el automóvil, ya que si se mantiene el régimen en las proximidades de este punto se consigue el mejor rendimiento con el mínimo consumo. (pág. 28)

El consumo específico de combustible es igual a:

$$G_{pe} = \frac{m \cdot \delta}{P \cdot \frac{t}{3600}} \left[ \frac{g}{Kw \cdot h} \right]$$

**Ecuación 3** Consumo específico de combustible y par.

Donde:

$N_e$  = Potencia efectiva del motor [Kw]

$\delta$  = Densidad de la gasolina empleada [ $g/cm^3$ ]

$m$  = masa del combustible [g]

$P$  = Potencia [Kw]

$t$  = Tiempo [h]

## 2.6 Diseño del múltiple de admisión

Las consideraciones en el diseño del múltiple de admisión son de gran transferencia, el cual cada parte es fundamental en el rendimiento del motor.

“El múltiple de admisión también interviene en la mezcla y atomización de la gasolina. Su función principal es distribuir la mezcla aire combustible en forma equitativa

a cada cilindro. Un buen múltiple de admisión ayuda a vaporizar y atomizar la gasolina” (Reverte & Aranda, 2018, pág. 9)

### **Figura 18**

*Múltiple de admisión*



*Nota.* Múltiple de admisión retirado del vehículo del proyecto.

Chimbolema & Guaytoso (2019) indican que un tubo de diámetro circular presenta menos superficie interior que uno de sección cuadrada del mismo ancho y largo. Los múltiples de admisión eficientes combinan en sus ductos secciones circulares y cuadradas.

Al contrario de lo que se piensa, las superficies extremadamente lisas y pulidas no favorecen la distribución homogénea de la mezcla. La gasolina líquida se adhiere con fuerza a esta clase de superficie. (pág. 10)

#### **2.6.1 Renovación de la carga**

La renovación de la carga es el proceso en el cual el motor expulsa los gases quemados y admite la mezcla fresca en el ciclo y donde se puede mejorar las condiciones de los gases dentro de los múltiples y se puede aumentar la masa de

aire admitida produciendo un mejor rendimiento volumétrico y una mejor potencia.  
(Cuadrado & Sánchez, 2008)

En las siguientes ecuaciones se tiene la relación entre la masa de aire admitida ( $m_a$ ) y el rendimiento volumétrico ( $n_v$ ) con la potencia de salida de un motor de cuatro tiempos.

$$P = n_f * m_a * F * PCI$$

$$P = n_f * n_v * P_{ref} * V_d * n * i * F * PCI$$

#### **Ecuación 4 Renovación de la carga**

Donde:

$n_f$  = eficiencia de transformación del combustible en energía útil

$m_a$  = masa de aire admitida [ $kg$ ]

$F$  = relación combustible/aire [*adimensional*]

$PCI$  = poder calorífico del combustible

$n_v$  = rendimiento volumétrico

$P_{ref}$  = densidad de referencia a la entrada del cilindro

$V_d$  = cilindrada [ $cm^3$ ]

$n$  = régimen de giro

$i$  = número de cilindros

$P$  = potencia efectiva

En las anteriores ecuaciones, la masa de aire es el más flexible en modificarse el cual me permite tener un aumento de potencia y torque.

a) **Dimensiones del múltiple:** Para encontrar las dimensiones del múltiple se emplean las fórmulas que nos presenta Funes en el libro Motores de competición, diseño y preparación.

$$V_p * S_p = V_g * S_c$$

**Ecuación 5 Dimensiones del múltiple**

Donde:

$V_p$  = Velocidad media del pistón [*rev/min*]

$S_p$  = Superficie del pistón [*m*]

$V_g$  = Velocidad de aire por la admisión [*rev/min*]

$S_c$  = sección del conducto [*m*]

El investigador Palacios (2018) en su investigación ha determinado que:

El producto  $V_p$  y  $S_p$ , da como resultado el caudal que teóricamente se necesita al llenar el cilindro a un régimen establecido, estos dos valores dan a conocer el caudal que tiene que circular por la admisión para lograr el llenado en ciertas condiciones preestablecidas. (pág. 37)

b) **Velocidad del pistón**

$$V_p = \frac{C * RPM}{30} [m/s]$$

**Ecuación 6 Velocidad del pistón.**

Donde:

$C$  = Carrera del pistón [m]

$RPM$  = Régimen de giro [rev/min]

**c) Superficie del pistón**

$$S_p = \frac{\pi * D_c^2}{4} [m]$$

**Ecuación 7 Superficie del pistón.**

Donde:

$D_c$  = Diámetro del pistón [m]

**d) Sección del conducto**

$$S_c = \frac{V_p * S_p}{V_g} [m]$$

**Ecuación 8 Sección del conducto**

Donde:

$V_g$  = Velocidad del gas de la admisión [m/s]

**e) Diámetro del conducto**

$$D = \sqrt{\frac{4 * S_c}{\pi}} [m]$$

**Ecuación 9 Diámetro del conducto**

Donde:

$S_c$  = Sección del conducto [m]

**f) Longitud del conducto**

$$L_c = \frac{P_o}{RPM} [m]$$

**Ecuación 10 Longitud del conducto**

Donde:

Po= Pulso de onda [m/s]

RPM= régimen de giro del motor [rev/min]

**2.6.2 Flujos de aire**

El ingreso de aire a las cámaras de combustión, es muy importante ya que a mayor entrada de flujo y el trabajo neto, influye directamente de forma proporcional en el flujo masico.

Bajo la consideración anterior se tiene la siguiente ecuación.

$$\dot{W}_{neto} = \dot{m} * W_{neto}$$

$$Par\ motor = \frac{\dot{W}_{neto} * 9550}{N} [Nm]$$

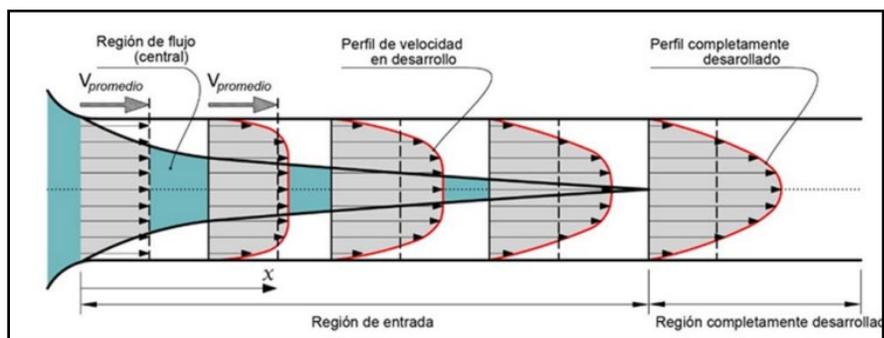
**Ecuación 11 Par motor**

La velocidad del fluido produce efectos de esfuerzos cortantes sobre una zona denominada capa límite de velocidad; su superficie divide el flujo dentro del conducto en dos zonas

“Las líneas del aire, que se extienden desde el motor hasta el exterior, deben diseñarse para velocidades del aire de 50 a 100 pies/s (15 a 30 m/s)” (Chimbolema & Guaytoso, 2019, pág. 12).

**Figura 19**

*Perfil de velocidad de fluido en la región de entrada*



*Nota.* Velocidades del aire en un conducto. Tomada del libro Mecánica de fluidos, por Cengel Y. A. (2006) Fundamentos y aplicaciones.

**a) Masa de aire en la admisión**

$$m_A = V_T * \rho_o \text{ [kg]}$$

**Ecuación 12** Masa de aire en la admisión

Donde:

$$m_A = \text{Masa de aire en la admisión [kg]}$$

$$\rho_o = \text{densidad de la carga en el cilindro dada por la fórmula [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rho_o = \frac{P_o}{R * T_o} [kg/m^3]$$

**Ecuación 13 Carga del cilindro**

$R =$  constante universal de los gases  $[Nm/kg * K]$

$T_o =$  Temperatura inicial (del aire)  $[K]$

**b) Flujo volumétrico**

$$\dot{V} = v * A_{sección} [m^3/s]$$

**Ecuación 14 Flujo volumétrico**

Donde:

$\dot{V} =$  Flujo volumétrico  $[m^3/s]$

$v =$  Velocidad del fluido  $[m/s]$

$A_{sección} =$  Área de la seccion transversal en el que circula el fluido  $[m]$

**c) Flujo másico**

$$\dot{m}_A = \rho_{aire} * \dot{V} [kg/s]$$

**Ecuación 15 Flujo másico**

Donde:

$\dot{m}_A =$  Flujo másico  $[kg/s]$

$\rho_{aire} =$  densidad del aire  $[kg/m^3]$

$$\dot{V} = \text{Flujo volumétrico [m}^3/\text{s]}$$

### 2.6.3 Presiones y temperaturas del funcionamiento del motor.

#### a) Presión al final de la admisión.

$$P_a = P_o - (\beta^2 + \varepsilon u d) * \frac{W_{ad}^2}{2} \rho_o * 10^{-6} \text{ [MPa]}$$

**Ecuación 16** Presión al final de la admisión

$$\beta = \frac{W_c}{W_{ad}}$$

**Ecuación 17** Coeficiente de amortiguación

Donde:

$$P_o = \text{Presión atmosférica [MPa]}$$

$$W_{ad} = \text{Velocidad media del aire en la admisión [m/s}^2\text{]}$$

Según (Jovaj, 1977) en su investigación indique que la sección de paso de  $W_{ad}$  es de 50 a 130  $m/s^2$  en motores con un cilindraje que oscila de 1000 a 3000  $cm^3$  as. Entonces se procede a realizar una interpolación para el motor Mitsubishi de 1300  $cm^3$ , se tomó 62  $m/s^2$  mediante cálculos.

$$\rho_o = \text{Densidad de la carga del cilindro}$$

$$T_o = \text{Temperatura inicial o ambiente [K]}$$

$$R = \text{Contante de los gases} = 286.9 \text{ [Nm/kg * K]}$$

$$W_c = \text{Velocidad media del aire en sección examinada [m/s}^2\text{]}$$

$\epsilon_{ud}$  = *coeficiente de resistencia a la admisión*

Según Jójvaj (1977) en su investigación indique la apertura de la válvula ( $\beta^2 + \epsilon_{ud}$ ), le velocidad de movimiento de la carga tiene a ser de 2.5 a 4 en motores con una cilindrada de 1000 a 3000  $cm^3$ . (pág. 89)

Añadiendo a lo anterior se toma un valor 2.73, mediante interpolación debido a que el motor es 1300  $cm^3$  tomando en cuenta los valores obtenidos en el experimento de Jójvaj.

**b) Temperatura de admisión**

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma r * T_r}{1 + \gamma r} [K]$$

**Ecuación 18 Coeficiente de amortiguación**

$T_a$  = *Temperatura en el ciclo de admisión [K]*

$T_o$  = *Temperatura inicial o ambiente [K]*

$\Delta T$  = *variación de la temperatura [°C]*

La obtención de la variación de la temperatura resulta bastante compleja su toma, por consideraciones ambientales y térmicos como humedad, condición climática, altura etc.... Debido a eso ha tomado como referencia la investigación (LLagari & Valle, 2012), Donde ya establecen los valores es su trabajo, una variación de temperatura de 15°C, a una presión de 2785 m sobre el nivel de mar y una temperatura ambiente de 285 K.

$$\Delta T = \frac{2850 * 15}{2785} \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Ecuación 19 Variación de temperatura**

$$\Delta T = 15.35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$\gamma_r =$  *coeficiente de gases residuales (adimensional)*

Según Jójvaj (1977) indica que, en los motores a gasolina, los valores de gases residuales  $\gamma_r = 0.06$  a  $0.1$ , en motores que van de  $1000$  a  $3000 \text{ cm}^3$ , por lo cual se interpola para tener un valor aproximado de  $0.066$ , en el motor de  $1300 \text{ cm}^3$ . (pág. 91)

$T_r =$  *temperatura de los gases residuales [K]*

Según Jójvaj (1977) indica que, la temperatura de los gases residuales oscila entre  $900$  y  $1000 \text{ K}$ , en los motores de que van de  $1000$  a  $3000 \text{ cm}^3$ , por lo cual se interpola para tener un valor aproximado de  $915 \text{ K}$ . (pág. 91)

**c) Presión de compresión**

$$P_c = P_a * \varepsilon^{n_1} \text{ [MPa]}$$

**Ecuación 20 Presión de compresión**

Donde:

$P_c =$  *Presión de compresión [MPa]*

$P_a =$  *Presión al final de admisión [MPa]*

$\varepsilon =$  *Relación de compresión [adimensional]*

$n_1 = \text{Exponente politr\u00f3pico de compresi\u00f3n [adimensional]}$

En la selecci\u00f3n del exponente politr\u00f3pico se recomienda utilizar la siguiente tabla obtenida en el trabajo experimental de (Jovaj, 1977)

**Tabla 4**

*Par\u00e1metros del proceso de compresi\u00f3n de los motores de autom\u00f3vil*

Par\u00e1metros	Motor			
	A carburador	De gas	Diesel sobrealimentado	no sobrealimentado
<b>Relaci\u00f3n de compresi\u00f3n</b>	6-9 (hasta 11)	5-10	14-21	
<b>Presi\u00f3n al final de la compresi\u00f3n [bar]</b>	9-15	7-14	35-55	
<b>Temperatura al final de la compresi\u00f3n [K]</b>	550-750	480 -650	700 - 900	
<b>Exponente de la politr\u00f3pica</b>	1.3-1.37	1.3-1.37	1.32-1.4	

*Nota.* Tabla adaptada del libro Motores del autom\u00f3vil. Tomada de par\u00e1metros de compresi\u00f3n, por Jovaj, 1977 pag 109.

**d) Temperatura de compresión**

$$T_c = T_a * \varepsilon^{n_1 - 1} [K]$$

**Ecuación 21** *Temperatura de compresión*

Donde:

$T_c$  = *Temperatura de compresión [K]*

$T_a$  = *Temperatura de admisión [K]*

$\varepsilon$  = *Relación de compresión [adimensional]*

$n_1$  = *Exponente politrópico de compresión [adimensional]*

**e) Temperatura de explosión**

$$P_z = \mu_r * \frac{T_z}{T_c} * P_c [MPa]$$

$$\mu_r = \frac{\mu_o + y_r}{1 + y_r}$$

**Ecuación 22** *Presión de explosión*

Donde:

$P_z$  = *Presión en la explosión [MPa]*

$P_c$  = *Presión de compresión [MPa]*

$\mu_r$  = *Coefficiente de variación molecular [adimensional]*

$\gamma_r =$  *Coeficiente de gases residuales [adimensional]*

$\mu_0 =$  *Coeficiente teórico de variación molecular [adimensional]*

**f) Presión al final de expansión**

$$P_b = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}} \text{ [MPa]}$$

**Ecuación 23** *Presión de explosión*

Donde:

$P_z =$  *Presión en la explosión [MPa]*

$P_b =$  *Presión al final de escape [MPa]*

$n_2 =$  *Presión máxima del ciclo [adimensional]*

**g) Temperatura de expansión**

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2-1}} \text{ [K]}$$

**Ecuación 24** *Temperatura al final de expansión*

Donde:

$T_b =$  *Temperatura al final de expansión [K]*

$T_z =$  *Temperatura de explosión [K]*

## 2.7 Trabajo neto

$$W_{neto} = Q_1 - Q_2 \text{ [KJ/kg]}$$

### **Ecuación 25 Trabajo neto**

Donde:

$Q_1$ : Cantidad de calor en 1 o calor suministrado [KJ/kg]

$Q_2$ : Cantidad de calor en 2 o calor extraído [KJ/kg]

$$Q_1 = cv(T_z - T_c) \text{ [KJ/kg]}$$

### **Ecuación 26 Cantidad de calor suministrado**

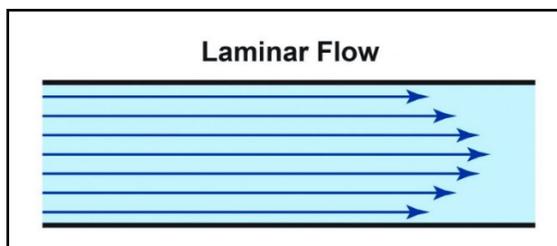
$$Q_2 = (T_b - T_a) \text{ [KJ/kg]}$$

### **Ecuación 27 Cantidad de calor extraído**

$cv$ : Calor específico a volumen constante  $\left(0.718 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}}\right)$

## 2.8 Flujo laminar

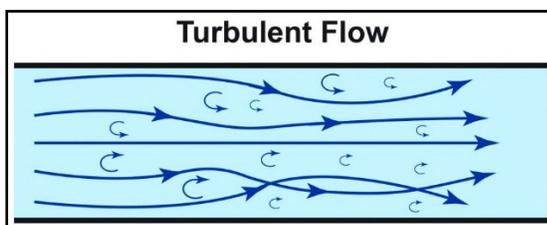
Se define como flujo laminar al recorrido del fluido de forma regulada es decir un flujo ordenado donde se puede observar que se mueve en láminas paralelas sin chocar entre ellas tomando una sola dirección.

**Figura 20***Flujo laminar*

*Nota.* Movimiento lineal del aire a través de un ducto. Adaptada de dinámica de fluidos, de Torres, 2019 (<https://www.ugr.es/~jtorres/t7.pdf>)

**2.9 Flujo turbulento**

En relación con un flujo laminar este es descontrolado y sin una dirección definida por el fluido más bien se compone de varias laminas las cuales se cruzan y entrelazan en su recorrido, y por el movimiento y choque entre laminas se generarán vórtices o remolinos.

**Figura 21***Flujo turbulento*

*Nota.* Movimiento irregular del aire a través de un ducto. Adaptada de dinámica de fluidos, de Torres, 2019 (<https://www.ugr.es/~jtorres/t7.pdf>)

## 2.10 Numero de Reynolds

Cengel & Cimbala (2006) ha afirmado lo siguiente:

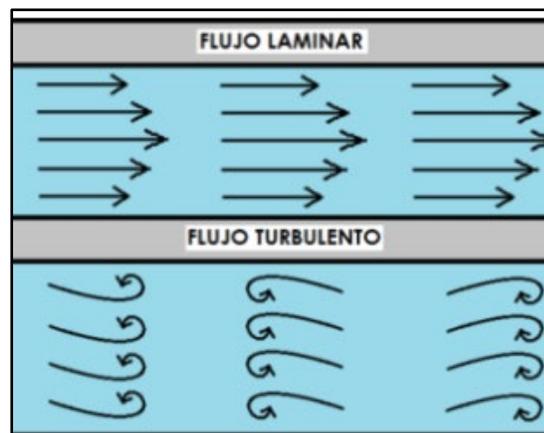
La transición de flujo laminar a turbulento depende entre otros factores de la geometría, la velocidad del flujo, la rugosidad de la superficie, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido. Luego de experimentos exhaustivos, Osborne Reynolds, en los años 1880, descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido (pág. 323)

“Los flujos tienen número de Reynolds grandes (tienden a ser turbulentos) debido a una velocidad y/o una viscosidad baja. Los fluidos con viscosidad alta y/o se muevan a 10 velocidades bajas, tendrán un número de Reynolds bajos (tienden a ser laminares)” (Elizalde & Loayza, 2016, pág. 9).

- Laminar  $Re < 2300$
- Turbulento  $Re < 4000$

### Figura 22

*Flujo laminar y turbulento*



*Nota.* Comparación del movimiento laminar y turbulento. Adaptada de dinámica de fluidos, de Torres, 2019 (<https://www.ugr.es/~jtorres/t7.pdf>)

## 2.11 Pérdidas menores

Cuando un fluido recorre por una conducción cilíndrica y de sección constante este tiene pérdidas proporcionales a la energía cinética esto es debido a la rugosidad presente en la superficie que se encuentra el rozamiento del fluido.

Salcedo, M. (2011) ha afirmado que la rugosidad representa la altura media de los desniveles en la superficie y que con el paso del tiempo esta superficie puede presentar un aumento en dichos desniveles, por ello (Ponce, 2006) indica la ecuación 29 de Darcy-Weisbach que ayuda a determinar estas pérdidas debido a la fricción a lo largo de las tuberías

$$H_f = f \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) \text{ [mca]}$$

### ***Ecuación 28 Ecuación de pérdida de energía***

Donde:

$H_f$  = Pérdidas de energía [mca]

$f$  = Coeficiente de fricción de Darcy [*adimensional*]

$L$  = Longitud [m]

$D$  = Diámetro [m]

$v^2$  = Velocidad de flujo dentro de la tubería [m/s]

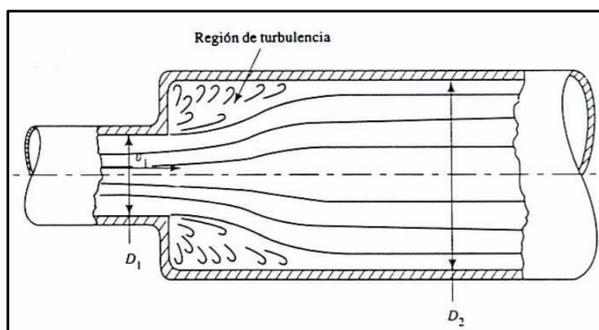
$g =$  Velocidad de la gravedad = 9,81 [m/s]

### 2.11.1 Pérdida por dilatación súbita

Cuando el fluido pasa de un conducto con un diámetro menor a uno con diámetro mayor la velocidad con la que entra en la segunda sección ocasiona una turbulencia la cual genera una pérdida de energía por ello la cantidad de pérdida de energía es directamente proporcional al cociente de los diámetros de las dos secciones.

**Figura 23**

*Dilatación súbita*



*Nota.* Conexión de conductos de un diámetro menor a un mayor. Adaptado de Mecánica de fluidos, por Cengel & Cimbala, 2006.

Esta pérdida se calcula con la ecuación

$$h_L = K \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) [\text{mca}]$$

**Ecuación 29** Pérdida por dilatación súbita

Donde:

$h_L =$  Pérdidas de energía por dilatación subida [mca]

$k$  = Coeficiente de resistencia, el cual depende de la relación de diámetros y el ángulo del cono  $\frac{D_1}{D_2}$  [adimensional]

$V_1$  = Velocidad de flujo dentro del conducto [m/s]

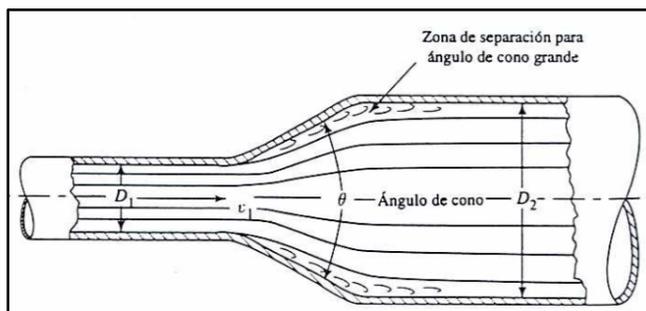
$g$  = Velocidad de la gravedad 9,81 [m/s<sup>2</sup>]

### 2.11.2 Pérdida de energía por dilatación gradual

Un conducto con diámetros diferentes y el fluido pasa de una sección con diámetro menor a uno de mayor diámetro se puede hacer que sea menos escabrosa como la dilatación súbita colocando una sección cónica que una estas dos secciones, las paredes del cono guiarán el fluido durante su cambio, lo cual generará menos turbulencia

#### Figura 24

*Dilatación gradual expansión*



*Nota.* Conexión de conductos de forma gradual expansiva. Adaptado de Mecánica de fluidos, por Cengel & Cimbala, 2006.

Esta pérdida se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$h_L = k \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) [mca]$$

**Ecuación 30** Pérdida por dilatación gradual

Donde:

$h_L$  = Pérdidas de energía por dilatación gradual [mca]

$k$  = Coeficiente de resistencia, el cual depende de la relación de diámetros y el ángulo del cono  $\frac{D_1}{D_2}$  [adimensional]

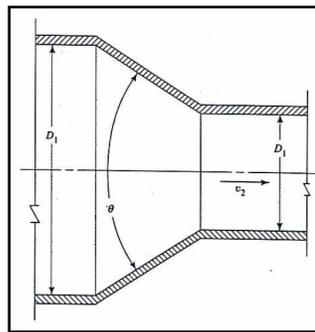
$V_1$  = Velocidad de flujo dentro del conducto [m/s]

$g$  = Velocidad de la gravedad 9,81 [m/s<sup>2</sup>]

Por otro lado, cuando el fluido pasa de un diámetro mayor a uno con diámetro menor unido con una sección cónica la pérdida de energía es menor a una unión con bordes cuadrados denominada contracción súbita, en el caso el fluido es dirigido hacia el diámetro menor dando un flujo más controlado.

**Figura 25**

*Contracción gradual de contracción*



*Nota.* Conexión de conductos de forma gradual de contracción. Adaptado de Mecánica de fluidos, por Cengel & Cimbala, 2006.

$$h_{cg} = k \left( \frac{V_i^2}{2g} \right) [mca]$$

Donde:

$h_{cg}$  = Pérdidas de energía por contracción gradual [mca]

$k$  = Coeficiente de resistencia, el cual depende de la relación de diámetros y el ángulo del cono  $\frac{D_1}{D_2}$  [adimensional]

$V_1$  = Velocidad de flujo dentro del conducto [m/s]

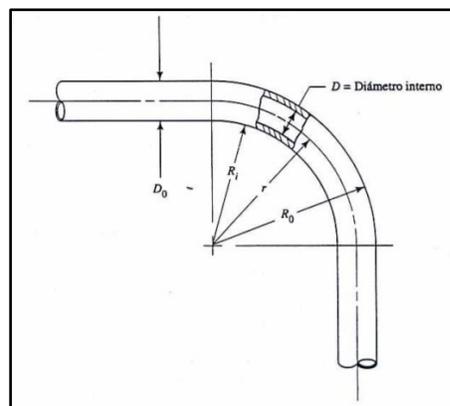
$g$  = Velocidad de la gravedad 9,81 [m/s<sup>2</sup>]

### 2.11.3 Codos de tubería

En el desarrollo del proyecto en un modelado a 90° ahí la necesidad de doblar el tubo por lo cual se genera un codo que genera resistencia al paso del fluido, esta resistencia se define por el radio del codo y la longitud del mismo en proporción.

**Figura 26**

*Codo de tubería*



*Nota.* Pérdida de energía en tubos con inclinaciones. Adaptado de Mecánica de fluidos, por Cengel & Cimbala, 2006.

$$r = R_i + \frac{D_o}{2} [m]$$

**Ecuación 31** Radio de línea central del conducto

$$L_e = \frac{r}{D} [\text{adimensional}]$$

**Ecuación 32** Relación de la longitud equivalente

$$K_{codo} = f \left( \frac{L_e}{D_i} \right) [\text{adimensional}]$$

**Ecuación 33** Coeficiente de resistencia

$$h_{codo} = K_{codo} \left( \frac{v^2}{2g} \right) [\text{adimensional}]$$

**Ecuación 34** Pérdidas de energía por la curva en sección

Donde:

$h_{codo}$  = Pérdida de energía por la curva [adimensional]

$K_{codo}$  = Coeficiente de resistencia [adimensional]

$v^2$  = Velocidad del fluido en la sección [m/s]

$g$  = Velocidad de la gravedad 9,81 [m/s<sup>2</sup>]

### 2.11.4 Pérdida total de energía

Para definir la pérdida total de energía en el conducto se realiza la sumatoria total de las pérdidas encontradas la cual se define de la siguiente manera:

$$H_L = h_v + h_L + h_{cg} \dots + h_{codo}$$

**Ecuación 35** Pérdida total de energía

### 2.12 Ecuación de estado

En la modelación del múltiple de admisión es recomendable considerar el aire como un gas ideal, por tanto, se tiene la siguiente ley:

$$P_i * V_i = n * R * T$$

**Ecuación 36** Ecuación de estado

Donde:

$P_i$  = Presión en el colector de admisión [Pa]

$V_i$  = Volumen del colector de admisión [ $m^3$ ]

$n$  = Masa de aire en el colector de admisión [mol]

$R$  = Constante de los gases para el aire [ $J / mol * K$ ]

$T$  = Temperatura del aire en el colector de admisión

También se puede expresar la ecuación en términos de la densidad del aire en el colector de admisión  $\delta_i$

$$P_i = \frac{m_i}{V_i} = \frac{P_i}{RT} [Pa]$$

**Ecuación 37** Ecuación de estado en base a la densidad**2.13 Sistema de inyección SFI**

El sistema de inyección basa su funcionamiento en la medición de algunos parámetros como estado de carga del motor, densidad del aire, régimen de giro del motor, posición del cigüeñal o del árbol de levas, temperatura del líquido refrigerante, posición de aceleración y el monitoreo del contenido de oxígeno de los gases de escape (Gomez & Ramos, 2005).

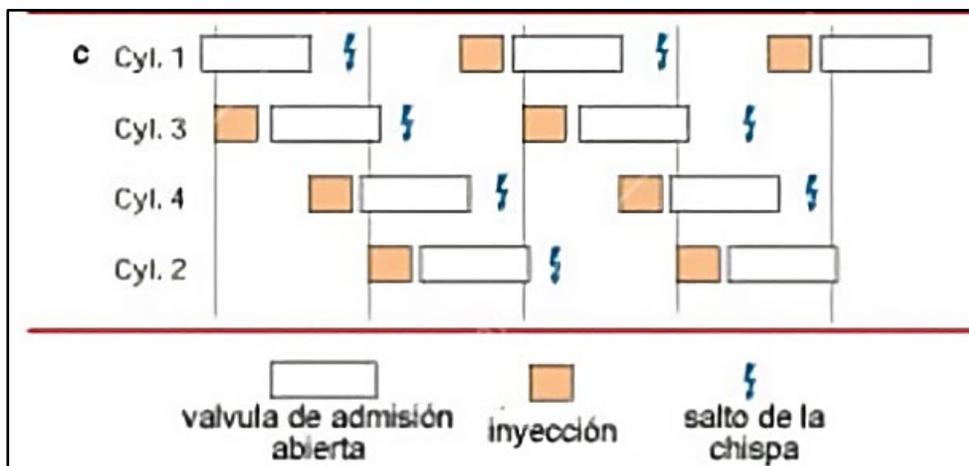
Todos los datos o al menos 4 son los necesarios para que el inyector pulverice gasolina en el múltiple de admisión, teniendo una mezcla aire-gasolina y posteriormente entre en la cámara de combustión y combustione, transformando esa energía química en energía mecánica.

**Figura 27**

*Sistema de inyección secuencial*



*Nota.* La figura representa un vehículo con sistema de inyección secuencial.

**Figura 28***Orden de inyección secuencial*

*Nota.* La figura indica la inyección y chispa es de forma secuencial en cada cilindro cada 720 grados. Tomada de tipos de inyecciones, por Laverde & Panchi, 2007.

### 2.13.1 Inyectores

Hidalgo (2019) manifiesta que los inyectores son lo más esencial en un sistema de inyección de combustible, pues es el encargado de proporcionar el combustible necesario para el proceso de combustión. Independientemente del tipo de inyección, ubicación o cantidad de inyectores, este posee una boquilla la cual puede estar conformada por uno o varios orificios a través de los cuales se rocía la gasolina, estos agujeros permanecerán cerrados por una válvula de aguja que actúa por acción de un resorte.

**Figura 29***Inyector de gasolina*

*Nota.* Inyectores de 210 cc usados en la implementación del sistema SFI del proyecto.

**Tabla 5***Valores de funcionamiento de los inyectores*

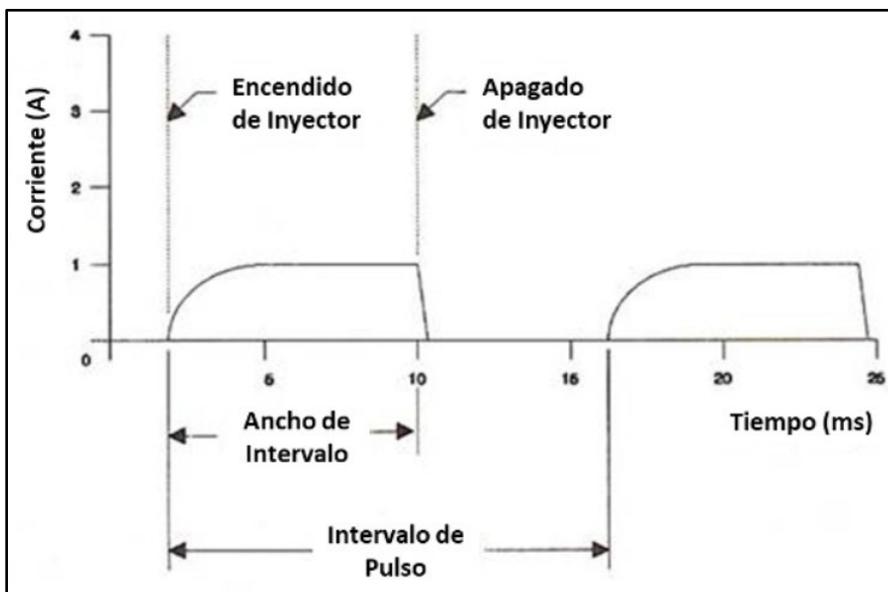
<b>Cable</b>	<b>Voltaje</b>
<b>Alimentación</b>	12 V
<b>Pulso</b>	0 V o 12 V
<b>Masa</b>	30 Mb

*Nota.* Voltajes de funcionamiento de un inyector. Adaptado de sistema de inyección electrónica, por Hidalgo, 2019.

Un inyector particular fluye 11.5cc/1000 pulsos a un PW de 2.5 ms y 64.5cc/1000 pulsos a un flujo estático. El valor del flujo estático se redujo de su valor medido normalmente de 386.8cc/min a 1000 pulsos a una PW de 10 ms y una PI de 10 ms. Esto hace que el inyector se encienda durante 1000 PMS de 10 ms. Como indica la figura

**Figura 30**

*Curva Corriente vs Tiempo del funcionamiento de un inyector*



*Nota.* La figura muestra la corriente que usa el inyector en función del tiempo tomada por el osciloscopio. Tomada por E-auto.com

### **2.13.2 Bomba de gasolina**

Solano & Fiallo (2005) define que

“La ECU controla la bomba de combustible a través de un relé. Que provoca que la bomba se active durante varios segundos al dosificar combustible al sistema y entonces se apaga”.

“La bomba proporcionara 310 litros de combustible por hora, la presión del sistema nominal de 3.5 bares (50.75 PSI). Esto se asume un voltaje del sistema de 13.0 Voltios (14.2 son nominales)”. (pág. 35)

**Figura 31**

*Bomba de combustible gasolina*



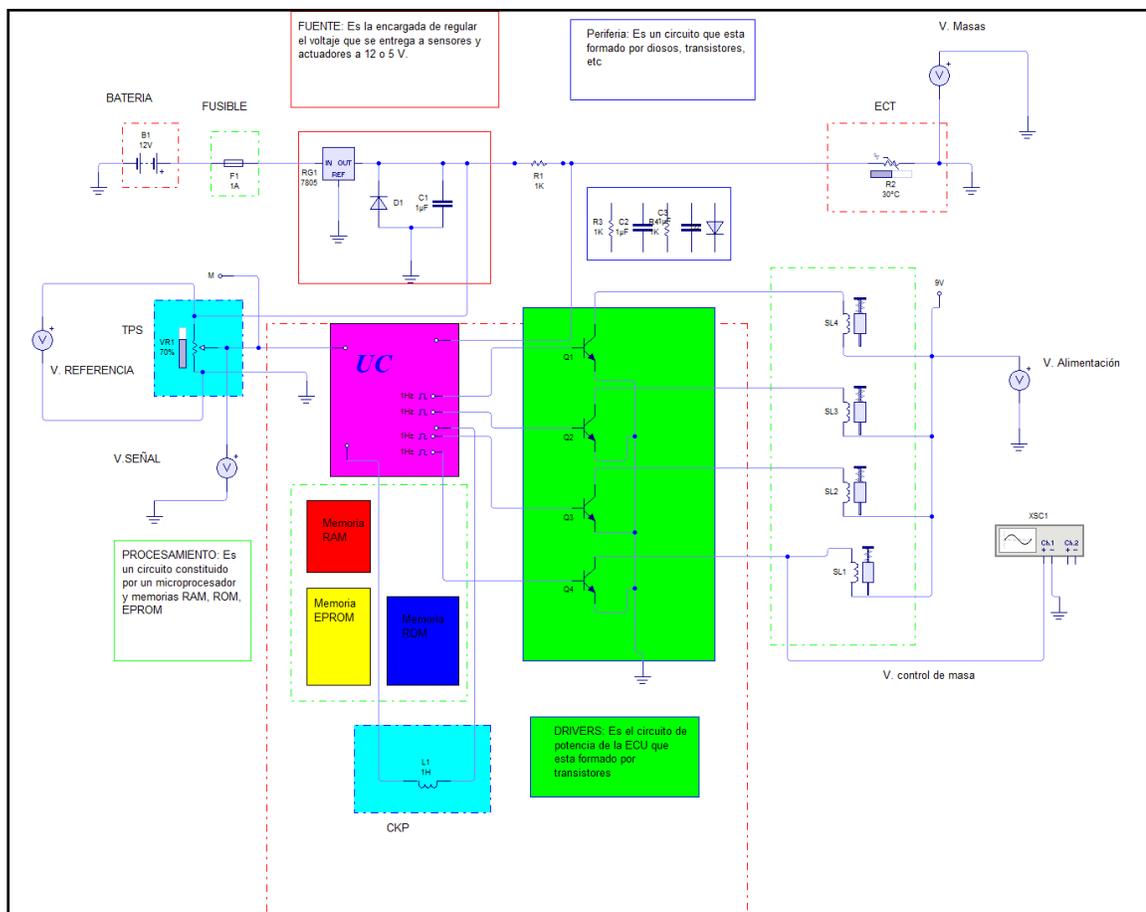
*Nota.* Bomba de combustible externa marca AVICAR

**2.13.3 Unidad de control ECU**

Según (Chontasi & Vinlasaca, 2018) indica que “La unidad de control electrónico ECU controla algunos o todos los sistemas eléctricos dentro del vehículo y tiene una unidad de control propia en la ejecución de instrucciones de memoria del programa, y una unidad lógica para manejar operaciones aritméticas y lógicas.”

Figura 32

## Simulación diagrama eléctrico ECU



*Nota.* Simulación del funcionamiento de la ECU realizada en LiveWire.

**a) ECU programable:**

Las ECU programables, son aquellos que se pueden modificar como consecuencia de un cambio de algún componente del vehículo, debiendo ser programado para poder configurar correctamente del comportamiento y rendimiento adecuado del automóvil. Estas unidades más modernas pueden ser modificadas mediante una conexión con un portátil, en el cual se pueden visualizar todas las características de funcionamiento del mismo y podrá variarse, ciertos

parámetros como la cantidad de combustible que se debe inyectar en el motor, la mezcla correcta de oxígeno y combustible o distintos parámetros claves necesarios en el vehículo (Hidalgo, 2019, pág. 45).

### Figura 33

#### *ECU programable*



*Nota.* La figura representa el kit completo de la computadora que son: 3 conectores, computadora y manual de instalacion. Tomada del manual de MegaSquirt V3.

Las ECU programables hoy en día facilitan el trabajo en la parte electrónica del vehículo, debido a la fácil configuración en el modo de ignición como: secuencial, semisequenciales y simultanea dependiendo a la finalidad de cada proyecto en las ECU programables se configura los parámetros iniciales se aprecia cambios en el comportamiento del vehículo.

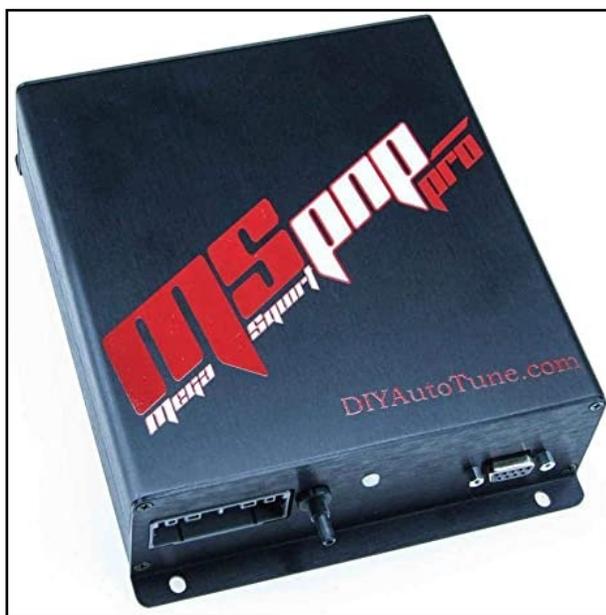
#### **b) MegaSquirt:**

La MegaSquirt puede proporcionar cálculos en tiempo real del combustible, hasta 16.000 RPM, es completamente programable y provee una conexión serial al

interconectarse con una computadora regular, o con una "notebook"; donde toda la información está disponible en tiempo real. A pesar de que MegaSquirt comenzó como un proyecto que solamente se dirigía, a poder controlar sistemas de inyección de combustible; se le ha añadido la capacidad para poder controlar el sistema de encendido del motor. Por tanto, se ha convertido en un sistema completamente independiente que no necesita, de la computadora actual de un motor y poder llevar a cabo su función (Paspuezan & Cristian, 2013, pág. 54)

### Figura 34

*ECU programable MegaSquirt 3 pro*



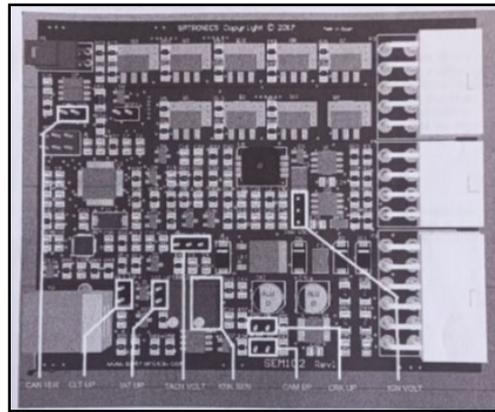
*Nota.* La figura representa la computadora reprogramable MegaSquirt. Tomada del manual de MegaSquirt V3.

La computadora MegaSquirt tiene la facilidad de controlar motores hasta 16 cilindros, además tiene la opción de controlar el tipo de chispa como: independiente, chispa pérdida, o múltiple dependiendo de la necesidad del proyecto, la computadora

además de tener un pin out del MAP para conectarlo al un sensor, tiene un circuito sensor MAP pre instalado el cual conecta al vacío de los ITBs.

### Figura 35

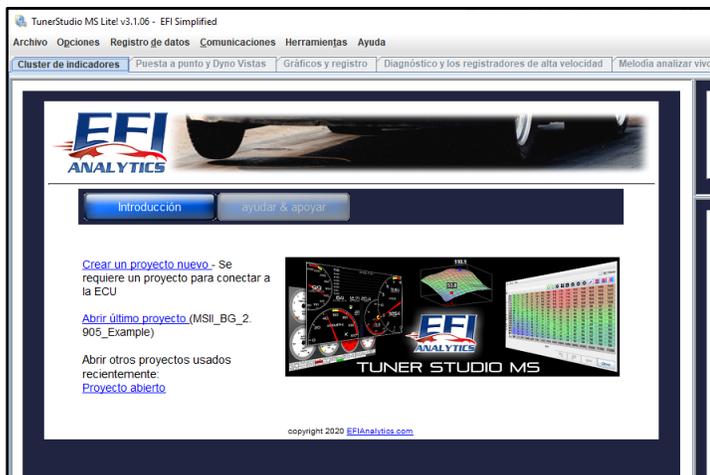
*MegaSquirt Jumper*



*Nota.* Microcontroladores que tiene la ECU programable. Tomada del Manual de la MegaSquirt 3V

#### **c) Software de programación:**

La función principal del programa es tomar los valores de todos los sensores, e ir a la matriz de tiempo base de inyección y avance de encendido para calcular el tiempo total de inyección y el avance total de encendido. Una vez hecho esto se envían los datos a través del puerto USB al PC y ser visualizados en tiempo real (Brontons, 2010, pág. 29)

**Figura 36***Tuner Studio*

*Nota.* Programa TunerStudio ayuda en la calibración y mapeo de la computadora durante el desarrollo del proyecto.

El software a utilizar para la computadora es el TunerStudio, donde se configura parámetros iniciales, y caracterismos de la inyección electrónica. Dentro de sus características de configuración son: TPS, ECT, MAP, IAT, mapas de consumo de combustible, pulsos de bobinas e inyectores, tacómetro entre otras.

#### **2.13.4 Sensor MAP (Presión absoluta de la múltiple admisión)**

Solano & Fiallo (2005) afirma que el sensor se engancha a succión del cuerpo de admisión con una sección corta de manguera. La presión del aire en la succión del cuerpo de admisión es una de las dimensiones a determinar la presión absoluta, dependiendo del sistema este puede compensarse automáticamente para las variaciones de presión barométricas y se incluyen aquellos que ocurren cuando hay un aumento en la altitud.

**Figura 37**

*Sensor de presión absoluta MAP*



*Nota.* El sensor MAP está ubicado en el múltiple de admisión, y mide la presión del aire al cual trabaja el

Este sensor tiene tres cables con los cuales son:

**Tabla 6**

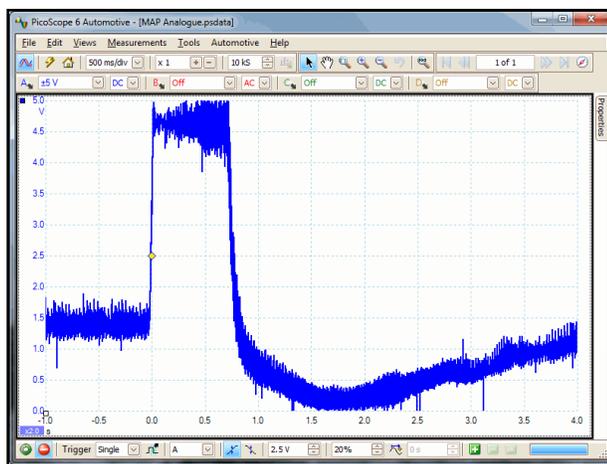
*Valores de funcionamiento sensor MAP*

<b>CABLE</b>	<b>VOLTAJE</b>
<b>Alimentación</b>	5 V
<b>Tierra</b>	30 m V
<b>Salida Analógica Variable</b>	0.3 a 5 V

*Nota.* Voltajes de funcionamiento del sensor MAP. Adaptado de sistema de inyección electrónica, por Hidalgo, 2019.

**Figura 38**

*Curva analógica del sensor MAP*

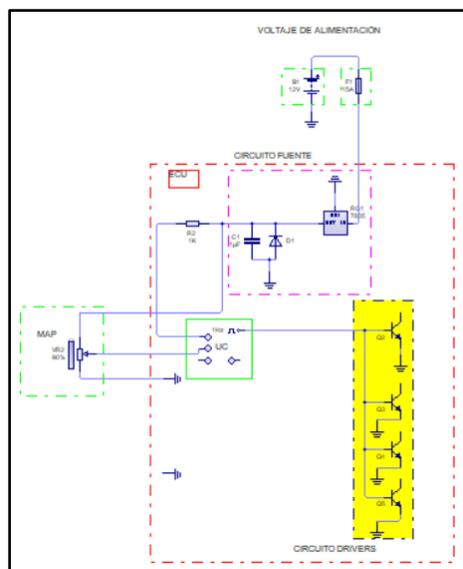


*Nota.* Medición del vacío que existe en múltiple de admisión en diferente régimen de funcionamiento. Tomada por Pender, 2015

(<https://www.picoauto.com/es/library/automotive-guided-tests/sensor-analogico-map/>).

**Figura 39**

*Simulación diagrama eléctrico sensor MAP*



*Nota.* Simulación del funcionamiento del sensor inductivo MAP realizada en LiveWire.

### 2.13.5 Sensor MAF (Flujo de masa de aire)

Según (Inacap, 2001) indica que este sensor es conocido también como flujómetro, puede utilizar como elemento de medición un hilo de platino calentado o una película caliente, los dos sistemas cumplen el objetivo de recibir un voltaje de referencia, generalmente 12 voltios y según la cantidad de aire que ingrese al motor, entregan un Voltaje que fluctúa entre 0.8 Voltios a 4 Voltios aproximadamente

#### Figura 40

*Sensor de flujo de aire MAF*



*Nota.* El sensor MAF está ubicado en el múltiple de admisión, y mide el flujo másico del aire al cual trabaja el motor. Tomado de Sensores del vehículo, por Inacap. .

#### Tabla 7

*Valores de funcionamiento del sensor MAF*

Cables	Voltaje
Referencia	5 V
Retorno	0 V a 5 V
Masa	30 m V

*Nota.* Voltajes de funcionamiento del sensor MAF. Adaptado de sistema de inyección electrónica, por Hidalgo, 2019.

En el cable de retorno de acuerdo a las condiciones de operación y carga del motor se encontrarán los siguientes valores como ejemplo.

**Tabla 8**

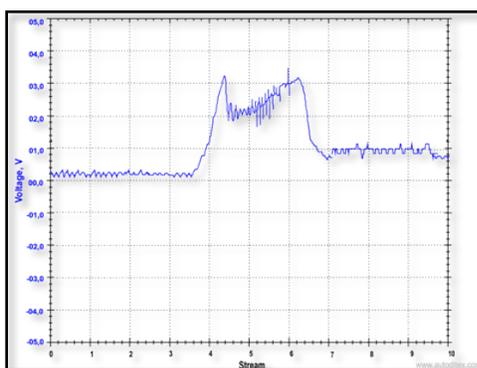
*Ejemplo de valores en el cable de retorno del sensor MAF*

RPM	Voltaje (Voltios)
750	0.8 V
2500	2 V
3000	3 V

*Nota.* Valores de voltaje de funcionamiento del sensor MAF. Adaptado de sistema de inyección electrónica, por Inacap, 2001.

**Figura 41**

*Curva generada por el sensor MAF*

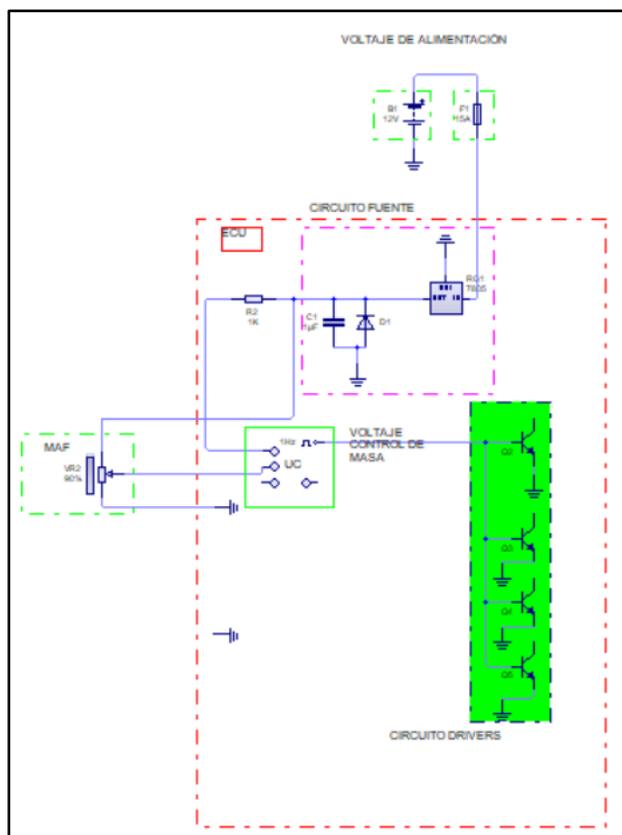


*Nota.* Curva de la cantidad de aire que ingresa al motor dependiendo de las RPM.

Tomada de [Mundoautomotriz.com](http://Mundoautomotriz.com)

## Figura 42

*Simulación diagrama eléctrico sensor MAF*



*Nota.* Simulación del funcionamiento del sensor inductivo MAF realizada en LiveWire.

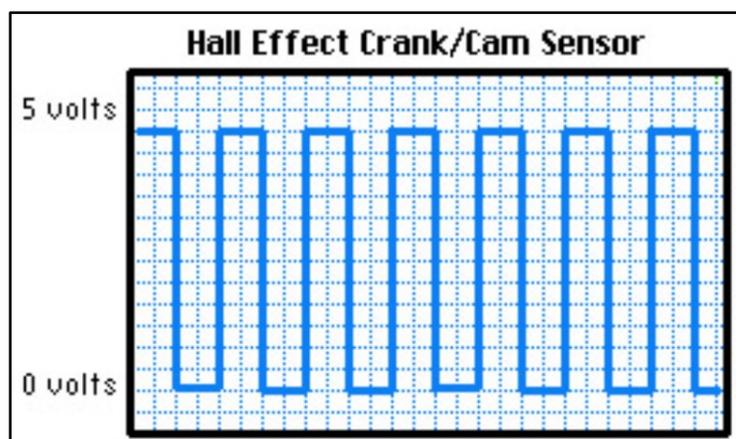
### 2.13.6 Sensor CKP (Posición del cigüeñal)

Este sensor es de tipo hall y según (Enright, 2015) produce una señal de encendido / apagado de onda cuadrada. El sensor está compuesto por un semiconductor o chip Hall IC. Cuando el chip es expuesto a líneas de fuerza magnéticas, produce una señal de voltaje. Cuando las líneas de fuerza magnética no actúan sobre el chip Hall IC, el voltaje es cero.

**Tabla 9***Valores de funcionamiento*

Cable	Voltaje
Alimentación	5 V
Retorno	0V o 5V
Masa	30 m V

*Nota.* Voltajes de funcionamiento del sensor CKP. Adaptado de sistema de inyección electrónica, por Enright, 2019.

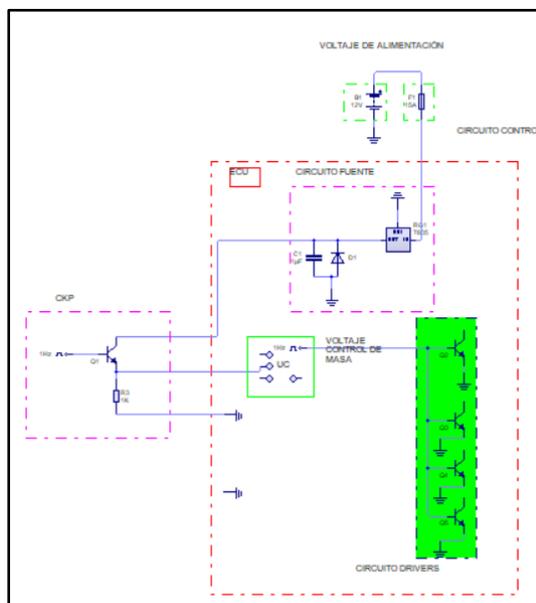
**Figura 43***Curva generada por el sensor CKP tipo Hall*

*Nota.* Señal cuadrada del sensor, indica la lectura de los dientes de la rueda fónica.

Tomada de E-auto.com

## Figura 44

Simulación diagrama eléctrico sensor CKP Hall



*Nota.* Simulación del funcionamiento del sensor CKP realizada en LiveWire.

### 2.13.7 Sensor TPS (Posición de mariposa)

Laverde & Panchi (2007) indica que este sensor efectúa un control preciso de la posición angular de la mariposa. El ECM toma esta información para poder efectuar distintas funciones, de suma importancia en el correcto funcionamiento de un sistema de inyección electrónica de combustible y actualmente el tipo de TPS más utilizado es el potenciómetro. Este consiste en una pista resistiva barrida con un cursor, y alimentada con una tensión de 5 voltios desde el ECM”

**Figura 45***Sensor de posición del acelerador TPS*

*Nota.* La figura representa el sensor TPS, ubicado en el extremo derecho de los ITBs.

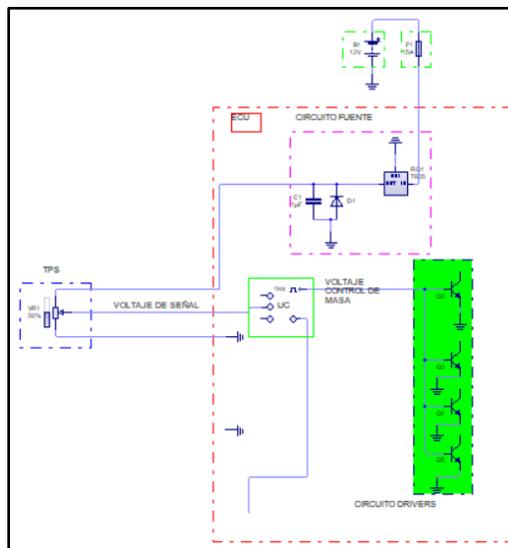
**Tabla 10***Valores en cableado del sensor TPS*

<b>Cable</b>	<b>Voltaje</b>
Línea de Tierra	30 m V a 80 m V
Línea de alimentación	5 V
Línea de Retorno	0.4 V a 5 V

*Nota.* Voltajes de funcionamiento del sensor TPS. Adaptado de sistema de inyección electrónica, por Laverde & Panchi, 2007.

**Figura 46**

*Simulación diagrama eléctrico sensor TPS*



*Nota.* Simulación del funcionamiento del sensor TPS realizada en LiveWire.

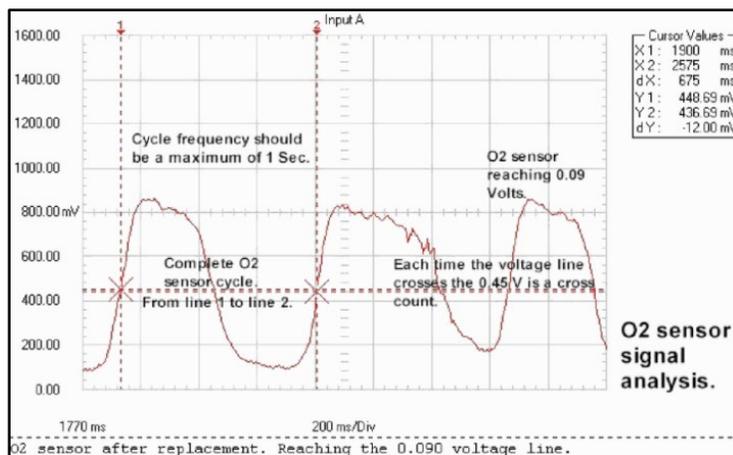
### 2.13.8 Sensor de oxígeno O2

Concepcion (2010) afirma que la habilidad de detectar Oxígeno se produce cuando este sensor genera un voltaje proporcional al contenido de oxígeno en los gases de escape, si el contenido de Oxígeno es bajo, el voltaje producido es alto: 0.9 Voltios o mezcla rica en combustible y si el contenido de oxígeno es alto, el voltaje es bajo: 0.1 Voltios o mezcla pobre en combustible, aunque el sensor O2 debe teóricamente oscilar entre 0.00 Voltios y 1.00 Voltios, en practica la oscilación es de entre 0.10 Voltios y 0.90 Voltios.

- EL sensor debe oscilar por lo menos a 1 Hz.
- El sensor O2 le es más fácil oscilar de mezcla rica a mezcla pobre que vise-versa.
- El sensor tiende a fallar en alta, cuando su señal se queda ciclando a un nivel de voltaje alto cerca de los 0.90 V. Si esto pasa la computadora siempre percibe la mezcla como rica en gasolina.

**Figura 47***Sensor de oxígeno O2*

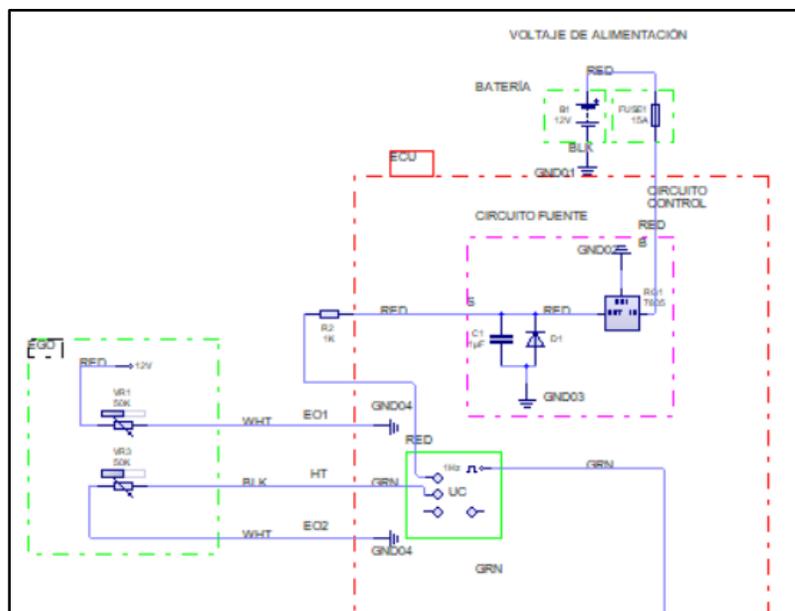
*Nota.* El sensor de oxígeno se localiza en el tubo de escape.

**Figura 48***Forma de onda sensor de oxígeno 2 cables*

*Nota.* La señal de picos bajos y altos del sensor de oxígeno significa que la mezcla estequiométrica aire – combustible es pobre o rica. Tomada por Concepcion, 2010.

Figura 49

Simulación diagrama eléctrico sensor EGO



Nota. Simulación del funcionamiento del sensor O2 realizada en LiveWire.

### 2.13.9 Sensor WTS (Temperatura de refrigerante)

Según (Solano & Fiallo, 2005) afirma que.

El sensor de temperatura del refrigerante es un dispositivo termistor de tipo NTC, el cual detecta la temperatura del refrigerante del motor, este sensor recibe el voltaje de entrada de la computadora. El funcionamiento se basa en que la resistencia interna del sensor varía con el cambio de temperatura del refrigerante, produciendo así una señal de salida de voltaje variable a la computadora.

**Figura 50**

*Sensor de temperatura del refrigerante WTS*

**Tabla 11**

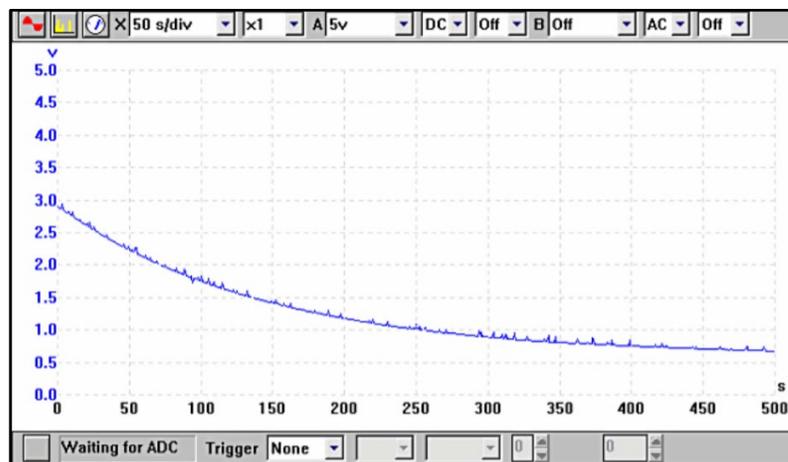
*Valores en cableado del sensor WTS*

<b>Cable</b>	<b>Valor</b>
Referencia	0.5 V a 4.5 V
Masa	30 mV u 80 mV

*Nota.* Voltajes de funcionamiento del sensor WTS. Adaptado de sensores de temperatura, por Solano & Fiallo, 2005.

**Figura 51**

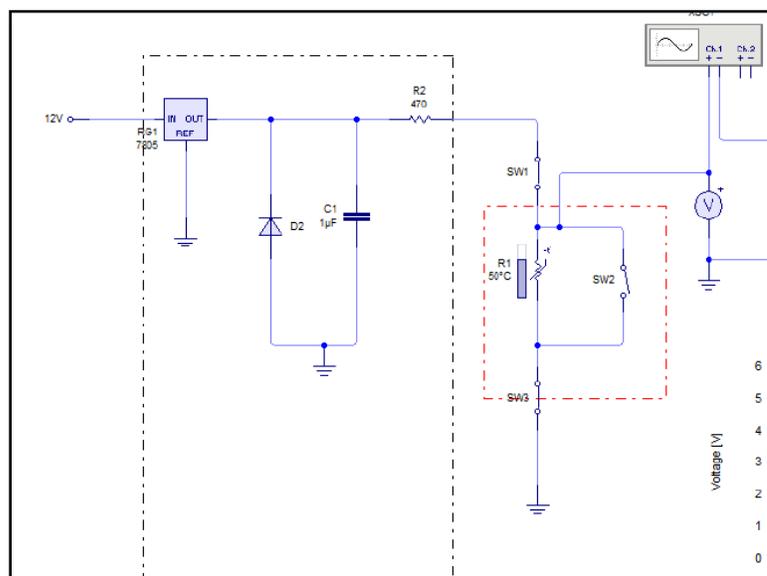
*Forma de onda sensor WTS*



*Nota.* Cuando el motor se calienta el voltaje del sensor disminuye. Tomada por Enright, 2015.

**Figura 52**

*Esquema eléctrico sensor WTS*



*Nota.* Simulación del funcionamiento del sensor O2 realizada en LiveWire.

## Capítulo III

### 3. Diseño y selección de componentes

El propósito del capítulo, es realizar una descripción detallada del proceso de cálculos, componentes, herramientas y modelado utilizados en el desarrollo del proyecto investigativo, que influyó en el aumento de los parámetros característicos del motor 4G13 al implementar el sistema de dosificación de combustible electrónico.

#### 3.1. Características iniciales del motor

El vehículo Mitsubishi lancer cuenta con un motor 4G13, en la siguiente tabla se muestra las características del motor.

**Tabla 12**

*Características del motor*

<b>Motor</b>	4 línea
<b>Cilindraje</b>	1298 cm <sup>3</sup>
<b>Número de cilindros</b>	4
<b>Diámetro x carrera</b>	71.0 x 82.0 mm
<b>Orden de encendido</b>	1-3-4-2
<b>Relación de compresión</b>	9.5:1
<b>Volumen de cámara</b>	38.24 cm <sup>3</sup>
<b>Potencia</b>	74 HP @ 6000 rpm
<b>Par máximo</b>	79 lb. Ft @ 3000 rpm
<b>Consumo</b>	7 L/ 100 km or 1.8492 gal/ 100km

*Nota.* Especificaciones del motor 4G13 estándar. Adaptado de Catálogo de Franco

### **3.2. Consideraciones para la adaptación**

Una vez obtenido los datos de torque, potencia, emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible se prepara el motor para trabajar en la implementación del sistema de inyección secuencial, por lo cual se considera temas como: espacio de trabajo, herramienta, manuales, equipo electrónico etc. Se realiza un mantenimiento preventivo y de ser el caso correctivo al motor.

#### **3.2.1. Mantenimiento preventivo**

Antes de realizar adaptaciones u modificaciones en el motor 4G13 del Mitsubishi lancer, se realiza pruebas de compresión y sellado, para observar las condiciones iniciales del motor y determinar si es óptimo continuar con el proceso antes de implementar el sistema SFI. Con estas pruebas se conoce si existe baja presión en algún cilindro y, además determina si hay fugas por empaques o anillos de compresión, guías de válvulas, etc.

#### **Figura 53**

*Limpieza del habitáculo del motor*



*Nota.* Se muestra el cambio obtenido con el mantenimiento preventivo al motor 4G13.

### **3.2.2. Medición de compresión**

Es fundamental comprobar el desgaste del motor provocado por uso continuo del vehículo y el paso del tiempo, tiende a disminuir su compresión, por ende, es importante realizar las comprobaciones de una manera efectiva.

Procedimiento de la medición de compresión

- Encender el vehículo.
- Calentar el motor hasta 90 °C, temperatura normal de funcionamiento.
- Desconectar los cables de bujías.
- Desconectar las bujías.
- Colocar el compresometro.
- Encender el vehículo.
- Tabular el resultado.
- Apagar y repetir.

#### **Figura 54**

*Medición de compresión en el cilindro 2*



*Nota.* Valor tomado de la compresión en el cilindro número 2 del motor 4G13, en el mantenimiento preventivo.

**Tabla 13**

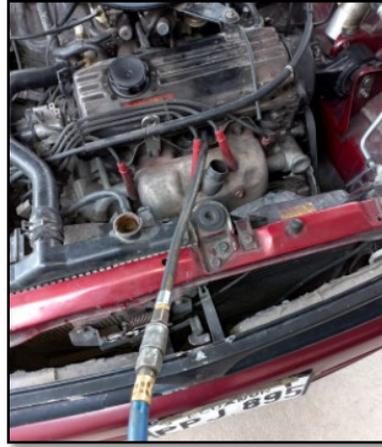
*Valores de compresión*

<b>Cilindro</b>	<b>Prueba</b>	<b>Prueba</b>	<b>Prueba</b>	<b>Promedio</b>
<b>1</b>	115	115	115	115
<b>2</b>	120	120	125	121
<b>3</b>	115	115	120	116
<b>4</b>	120	115	115	116

Se muestra que todos los cilindros están dentro del parámetro normal mínimo que son 100 PSI, además se concluye que el cilindro numero 1 a comparación de sus demás es el menor en su compresión.

### **3.2.3. Prueba de estanqueidad.**

La prueba de estanqueidad es fundamental para probar el sellado del motor, cuando el mismo está en la fase de compresión las válvulas, anillos del pistón y las paredes del cilindro hermetizan la cámara de compresión, con la finalidad de evitar fugas de presión.

**Figura 55***Prueba de estanqueidad en el cilindro 3*

*Nota.* Conexión neumática de presión de aire al cilindro 3 para verificar fugas de presión desde la cámara de compresión.

**Procedimiento de la prueba**

- Localizar el punto muerto superior en compresión del cilindro número 1.
- Aflojar la tapa del radiador.
- Llenar el sistema de refrigeración.
- Atornillar un acople neumático en la rosca de bujías.
- Aplicar aire al acople, se recomienda una presión superior a 50 PSI, se aplicó en esta prueba 90 PSI.
- Escuchar y observar si hay presencia fuga por el empaque del cabezote.
- Escuchar y observar si hay presencia fuga de aire por la tapa del radiador.
- Repetir en los demás cilindros.

### 3.3. Análisis del lugar y espacio para implementar el sistema SFI

Inicialmente se desmonta los accesorios y componentes de fabrica del motor como: depurador, filtro de aire, carburador, múltiple de admisión, tuberías, cañerías etc....

#### Figura 56

*Motor 4G13 estándar*



*Nota.* Motor 4G13 sin mantenimiento o modificación alguna.

Se toma medidas del espacio disponible en el motor 4G13 entre las toberas de admisión del cabezote y la carrocería, esto como fuente al diseñar el nuevo múltiple de admisión, para evitar un sobredimensionamiento de las nuevas piezas y problemas en el montaje.

**Figura 57**

*Espacio disponible en vehículo.*



*Nota.* Muestra el procedimiento al tomar valores del espacio disponible para instalar un nuevo múltiple de admisión e ITBS

La distancia que existe desde la toma de los conductos de admisión, hasta la carrocería es de 34 cm, es primordial tener en cuenta el espacio al momento de modelar o diseñar el nuevo colector o múltiple de aire evitando así sobredimensionarlo, y tener problemas en la instalación, además hay que dejar un espacio entre el múltiple y pared de la carrocería con la finalidad de evitar roces o golpes producto de las vibraciones del motor.

### **3.4. Obtención de datos preliminares al diseño**

Al iniciar el diseño se toma en cuenta varios parámetros físicos como: en la ciudad de Sangolquí donde se desarrolla el proyecto se obtiene la presión atmosférica, y datos meteorológicos con ayuda de páginas electrónicas en la obtención de datos, y con un anemómetro se mide la temperatura y velocidad del aire que ingresa al carburador.

**Figura 58***Anemómetro digital*

*Nota.* Especifica el anemómetro usado al obtener información del aire en la ciudad de Sangolquí.

Instrucciones para la toma de valores:

- Retira el depurador y filtro de aire.
- Enciende el vehículo, mantener en ralentí hasta que el motor alcance su temperatura normal de funcionamiento.
- Colocar el anemómetro en la toma del carburador.
- Aplastar MODE y observar los valores obtenidos cuando está en ralentí y aceleración máxima.

**Figura 59**

*Velocidad mínima de aire en ralentí*



*Nota.* Valor de la velocidad de aspirado del motor con carburador en ralentí y temperatura del aire al ingreso al carburador en la ciudad de Sangolquí.

**Figura 60**

*Velocidad media de aire a 3500 RPM*



*Nota.* Valor de la velocidad de aspirado del motor con carburador en aceleración media y temperatura del aire al ingreso al carburador en la ciudad de Sangolquí.

**Figura 61**

*Velocidad media de aire a 6000 RPM*



*Nota.* Valor de la velocidad de aspirado del motor con carburador en aceleración alta y temperatura del aire al ingreso al carburador en la ciudad de Sangolquí.

A continuación, se realiza los cálculos necesarios para el modelamiento del múltiple de admisión.

### **3.4.1. Cilindrada unitaria**

D= 7.1 cm (tomada de la tabla)

S= 8.2 cm (tomada de la tabla)

$$Vh = \frac{\pi * D^2}{4} * S$$

$$Vh = \frac{\pi * (7.1 \text{ cm})^2}{4} * 8.2 \text{ cm}$$

$$Vh = 324.65 \text{ cm}^3$$

### 3.4.2. Volumen de la cámara de combustión

$\varepsilon = 9.5$  (tomado de la tabla)

$$V_c = \frac{Vh}{\varepsilon - 1}$$

$$V_c = \frac{324.65 \text{ cm}^3}{9.5 - 1}$$

$$V_c = 38.19 \text{ cm}^3$$

### 3.4.3. Volumen de la cilindrada del motor

$$V_T = (V_c + Vh) * n$$

$$V_T = (38.19 \text{ cm}^3 + 324.65 \text{ cm}^3) * 4$$

$$V_T = 1451.36 \text{ cm}^3$$

### 3.4.4. Masa de aire en admisión

$P_o = 763 \text{ mm Hg} = 101725 \text{ Pa}$  (Wolrdmeteo, 2021)

$T_o = 14.5 \text{ }^\circ\text{C}$  Temperatura promedio de medio día

$$\rho_o = \frac{P_o}{RT_o}$$

$$\rho_{\text{aire}} = \frac{101725 \left( \frac{N}{m^2} \right)}{286.9 \left( \frac{Nm}{kg * k} \right) * 287.65 \text{ k}}$$

$$\rho_{\text{aire}} = 1.232 \text{ kg/m}^3$$

$$m_A = V_T * \rho_{aire}$$

$$m_A = 1.45136 \times 10^{-3} \text{ m}^3 * 1.232 \text{ kg/m}^3$$

$$m_A = 1.788 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

### 3.4.5. Flujo volumétrico

$$v = 15.8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ tomado en admisión con el anemómetro}$$

$$\dot{V} = v * A_{sección}$$

$$\dot{V} = v * \pi(r)^2$$

$$\dot{V} = 15.8 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \pi(0.021 \text{ m})^2$$

$$\dot{V} = 0.02188 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### 3.4.6. Flujo másico

$$\dot{m}_A = \rho_{aire} * \dot{V}$$

$$\dot{m}_A = 1.232 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.02188 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_A = 0.027 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

### 3.4.7. Presión de admisión

$$R = \text{Constante de los gases } 286.9 \frac{Nm}{kg * k}$$

$$\beta = \frac{Wc}{Wad}$$

$Wad = 62 \text{ m/s}^2$  en base a los datos experimentales del capítulo 2

$$(\beta^2 + \epsilon ud) = 2.73$$

$$Pa = Po - (\beta^2 + \epsilon ud) * \frac{Wad^2}{2} \rho_o * 10^{-6}$$

$$Pa = 101725 * 10^{-6} (MPa) - 2.73 * \left( \frac{(62 \frac{m^2}{s})^2}{2} \right) \left( 1.232 \frac{kg}{m^3} \right) * 10^{-6}$$

$$Pa = 0.09526 MPa$$

### 3.4.8. Temperatura de admisión

$$To = 15 \text{ } ^\circ\text{C} = 288.15 \text{ k}$$

$$\Delta T = 15.35 \text{ } ^\circ\text{C} = 288.5 \text{ k}$$

De acuerdo a los parámetros en el capítulo 2 se tiene lo siguiente

$$\gamma r = 0.066$$

$$Tr = 915 \text{ k}$$

$$Ta = \frac{To + \Delta T + \gamma r * Tr}{1 + \gamma r}$$

$$T_a = \frac{288.15 k + 288.5k + 0.066 * 915 k}{1 + 0.066}$$

$$T_a = 597.59 k$$

### 3.4.9. Presión de compresión

$$P_c = P_a * \varepsilon^{n_1}$$

$\varepsilon$  = Relación de compresión

$n_1$  = Exponente politrópico de compresión(adimensional)

$n_1$  = la consideración de este parámetro, se considera el trabajo experimental de (Jovaj, 1977), donde se reflexiona valores en motores a gasolina a carburador, en la tabla 3 establecen valores para motores con una relación de compresión de 6-9 con valores de exponente politrópicos de 1.3 – 1.37 según corresponda, debido a eso se realiza una interpolación.

**Tabla 14**

Valores exponentes politrópico

Interpolación lineal	
Relación de compresión	Exponente politrópico de compresión
6	1.3
9	1.37
9.5	<b>n1</b>

$$1.37 = 1.3 + \frac{(n_1 - 1.3)}{(9.5 - 6)}(9 - 6)$$

$$1.37 - 1.3 = \frac{(n1 - 1.3)}{(9.5 - 6)}(9 - 6)$$

$$\frac{(1.37 - 1.3)(9.5 - 6)}{(9 - 6)} = (n1 - 1.3)$$

$$n1 - 1.3 = \frac{(1.37 - 1.3)(9.5 - 6)}{(9 - 6)}$$

$$n1 = 1.3 + \frac{(1.37 - 1.3)(9.5 - 6)}{(9 - 6)}$$

$$\mathbf{n1 = 1.381}$$

$$Pc = Pa * \varepsilon^{n1}$$

$$Pc = 0.09526 \text{ MPa} * 9.5^{1.381}$$

$$\mathbf{Pc = 2.133 \text{ MPa}}$$

#### **3.4.10. Temperatura de compresión**

$$Tc = Ta * \varepsilon^{n1-1}$$

$$Tc = 597.59 \text{ k} * 9.5^{1.381-1}$$

$$\mathbf{Tc = 1409.016 \text{ k}}$$

### 3.4.11. Temperatura de explosión

$$\mu r = \frac{\mu_0 + yr}{1 + yr}$$

$\mu r$  = Coeficiente de variación molecular

Según (Jovaj, 1977, pág. 91) nos menciona que el coeficiente de variación molecular oscila entre 1.1 a 1.25 k, en los motores de que van de 1000 a 3000  $cm^3$ , por lo cual se interpola para tener su valor.

**Tabla 15**

Valores coeficiente de variación molecular

Interpolación lineal	
Cilindraje	Coeficiente de variación molecular
1000 cc	1.1
1300 cc	$\mu r$
3000 cc	1.25

$$\mu r = 1.1 + \frac{(1.25 - 1.1)}{(3000 - 1000)}(1300 - 1000)$$

$$\mu r = 1.1225$$

Para encontrar el valor de la temperatura de combustión, se toma en cuenta el trabajo experimental de (Jovaj, 1977, pág. 638), donde establece valores de  $T_z$  analizando el comportamiento de un motor a gasolina. Añadiendo a lo anterior  $T_z$  y  $U_0 = 68600 \text{ KJ/Kmol}$  (Energía interna de los productos del combustible).

**Tabla 16***Interpolación de temperatura de combustión*

<b>Interpolación lineal</b>	
<b>Energía interna</b>	<b>Temperatura de combustión</b>
67213 KJ/Kmol	2300 °C
68600 KJ/Kmol	Tz
70543 KJ/Kmol	2400 °C

$$T_z = 2300 \text{ °C} + \frac{(2400 - 2300) \text{ °C}}{(70543 - 67213) \text{ KJ/Kmol}} (68600 - 67213) \text{ KJ/Kmol}$$

$$T_z = 2341.651 \text{ °C}$$

$$T_z = 2614.801 \text{ K}$$

**3.4.12. Presión de explosión**

$$P_z = \mu r * \frac{T_z}{T_c} * P_c$$

$$P_z = 1.122 * \frac{2614.801 \text{ K}}{1409.016 \text{ K}} * (2.133 \text{ MPa})$$

$$P_z = 4.441 \text{ MPa}$$

### 3.4.13. Presión al final de expansión

$$Pb = \frac{Pz}{\varepsilon^{n_2}}$$

$$Pb = \frac{4.441 \text{ MPa}}{9.5^{1.24}}$$

$$\mathbf{Pb = 0.272 \text{ MPa}}$$

### 3.4.14. Temperatura al final de expansión

$$Tb = \frac{Tz}{\varepsilon^{n_2-1}}$$

$$Tb = \frac{2614.801 \text{ k}}{9.5^{1.24-1}}$$

$$\mathbf{Tb = 1523.29 \text{ k}}$$

### 3.4.15. Trabajo neto

$$Q1 = cv(Tz - Tc)$$

$$cv = 0.718 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} \text{ tomado de (Mena. 2011)}$$

$$Q1 = 0.718 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} (2614.801 - 1409.016) \text{K}$$

$$\mathbf{Q1 = 865.753 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$Q2 = cv(Tb - Ta)$$

$$Q2 = 0.718 \frac{KJ}{Kg * K} (1523.29 - 597.59)$$

$$Q2 = 664.652 \frac{KJ}{Kg}$$

$$W_{neto} = Q1 - Q2$$

$$W_{neto} = 865.753 \frac{KJ}{Kg} - 664.652 \frac{KJ}{Kg}$$

$$W_{neto} = 201.101 \frac{KJ}{Kg}$$

$$W_{\dot{neto}} = \dot{m} * W_{neto}$$

$$W_{\dot{neto}} = 0.0153 \frac{kg}{s} * 201.101 \frac{KJ}{Kg}$$

$$W_{\dot{neto}} = 3.07 Kw * \left( \frac{1.3410 HP}{1 Kw} \right)$$

$$W_{\dot{neto}} = 4.12 HP$$

### 3.4.16. Velocidad a la salida del colector de admisión

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

$$A_1 = \pi(r)^2 = \pi(0.022m)^2$$

$$A_1 = 1.52 \times 10^{-3} m^2$$

$$V_1 = 15.8 \frac{m}{s}$$

$$A_2 = \pi(r)^2 + b * a = \pi(0.0125)^2 + (0.01) * (0.025)$$

$$A_2 = 7.4087 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$1.52 \times 10^{-3} \text{ m}^2 * 15.8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7.4087 \times 10^{-4} \text{ m}^2 * V_2$$

$$V_2 = \frac{1.52 \times 10^{-3} \text{ m}^2 * 15.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7.4087 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$V_2 = 32.41 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_g = 32.41 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 3.5. Dimensionamiento del conducto de admisión

El cilindraje del motor es importante al momento que se considera el diámetro de los conductos del múltiple de admisión, y más aún en el llenado de las cámaras de admisión, un excelente flujo de aire permite que en el ciclo de admisión ingrese al cilindro la mayor cantidad de la mezcla aire combustible.

Según (Palacios, 2018) estable que,  $V_g$  es la velocidad del aire que circula en la admisión y  $S_c$  en la sección del conducto de admisión, se aplica la ecuación 5 para calcular las dimensiones del múltiple.

$$V_p * S_p = V_g * S_c$$

Después de realizar la prueba dinamométrica, se demuestra que el torque máximo es a 3600 rpm.

### 3.5.1. Velocidad del pistón

$$V_p = \frac{C * RPM}{30}$$

$$V_p = \frac{0.082 \text{ m} * 3600}{30}$$

$$V_p = 9.84 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 3.5.2. Superficie del pistón

$$S_p = \frac{\pi * D_c^2}{4}$$

$$S_p = \frac{\pi * 0.071^2}{4}$$

$$S_p = 3.959 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

### 3.5.3. Sección del conducto

$$S_c = \frac{V_p * S_p}{V_g}$$

$$S_c = \frac{9.84 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 3.959 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{32.41 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$S_c = 1.201 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

### 3.5.4. Diámetro del conducto

$$D = \sqrt{\frac{4 * S_c}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 4.248 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D = 0.0391 \text{ m}$$

$$D = 39.1 \text{ mm}$$

### 3.5.5. Selección del material a usar

En función a los resultados obtenidos en los cálculos, se selecciona un tubo de acero inoxidable con diámetro similar al calculado. Además, se considera material de fácil accesibilidad en el mercado y soldadura.

**Tabla 17**

*Características del material*

<b>Medida del tubo</b>	<b>Diámetro exterior mm</b>	<b>Espesor mm</b>	<b>Diámetro interior mm</b>
<b>1 3/4</b>	42.2	1.5	39.2

*Nota.* Propiedades físicas del tubo de acero inoxidable AISI 304 (KUBIEC, 2020)

#### **a. Propiedades mecánicas del material.**

El material seleccionado es acero inoxidable AISI 304, a continuación, se presenta las propiedades mecánicas del material extraídas de (Budynas & Nisbett, 2012).

$$S_{uy} = \text{Resistencia a la fluencia} = 40 \text{ Kpsi}$$

$$\alpha = \text{Coeficiente de dilatacion termica} = 15 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$E = \text{modulo de elasticidad} = 28 \text{ Mpsi}$$

$$\lambda = \text{modulo de poison} = 0.3$$

Añadiendo a lo anterior se escogió el acero inoxidable por las siguientes razones

- Reducción de costos
- Mayor factor de seguridad
- El grado de deformación a temperatura es mayor
- Facilidad en soldadura

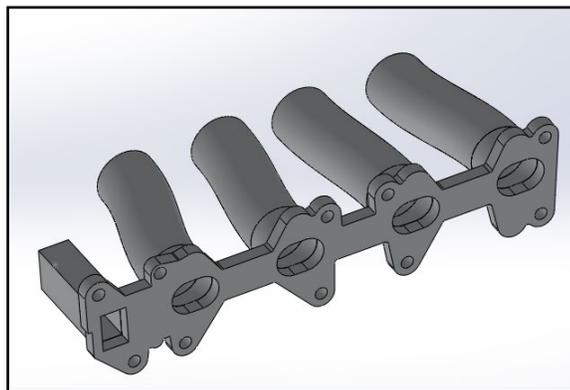
### 3.6. Propuesta de diseños

Partiendo del espacio disponible para la implementación del múltiple, ITBS, inyectores y filtros, se opta por modelar 3 diseños. Que se analizó mediante simulaciones y cálculos en la implementación del sistema SFI y tener la certeza de un óptimo llenado al MCI.

#### a) Diseño 1 múltiple inclinación

#### Figura 62

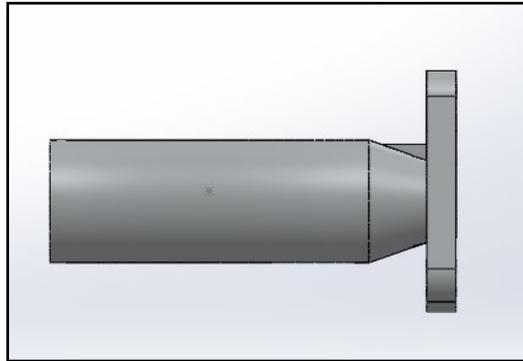
*Vista isométrica del múltiple 0° de inclinación*



*Nota.* Diseño número 1 del nuevo múltiple de admisión en vista isométrica. Tomado de SolidWorks 2020.

**Figura 63**

*Vista lateral del múltiple 0° de inclinación*

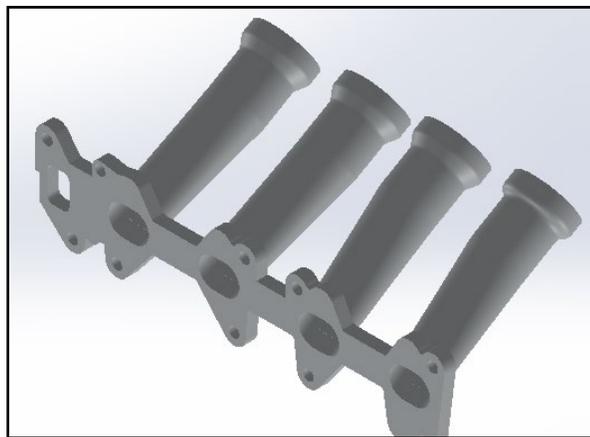


*Nota.* Diseño número 1 del nuevo múltiple de admisión en vista lateral. Tomado de SolidWorks 2020.

**b) Diseño 2 múltiple a 45° de inclinación**

**Figura 64**

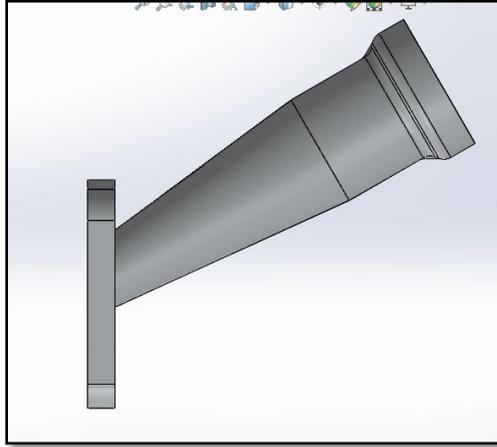
*Vista isométrica del múltiple a 45° de inclinación*



*Nota.* Diseño número 2 del nuevo múltiple de admisión en vista isométrica. Tomado de SolidWorks 2020.

**Figura 65**

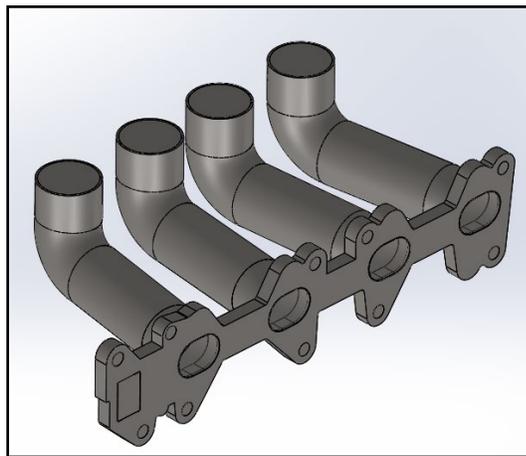
*Vista lateral del múltiple a 45° de inclinación.*



*Nota.* Diseño número 2 del nuevo múltiple de admisión en vista lateral. Tomado de SolidWorks 2020

**c) Diseño 3 múltiple a 90° de inclinación****Figura 66**

*Vista isométrica del múltiple a 90° de inclinación*



*Nota.* Diseño número 3 del nuevo múltiple de admisión en vista isométrica. Tomado de SolidWorks 2020

### 3.7. Propiedades del aire

El fluido que aspira el múltiple de admisión es aire, a presión ambiental y presión de aspiración en su máximo desarrollo, con las aletas de los ITB totalmente abiertas, es decir cuando se equilibra ambas presiones.

Hay que destacar que los ITB, carecen del sensor IAT para tomar la temperatura del aire que ingresa al múltiple, debido a eso se ha tomado en consideración el valor en función de estudios previos.

A continuación de se muestra las propiedades termodinámicas del aire tomadas de (Mott, 2006), a la temperatura de 44°C.

$$c_p: \text{Calor específico} = 1006.82 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

$$K_a = \text{Conductividad térmica} = 0.002752 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

$$\mu: \text{Viscosidad dinámica} = 1.926 \times 10^{-5} \text{ Pas} \cdot s$$

$$v: \text{Viscosidad cinemática} = 1.73 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$\rho = \text{Densidad} = 1.113 \text{ kg} / m^3$$

### 3.8. Diseño mediante software CFD

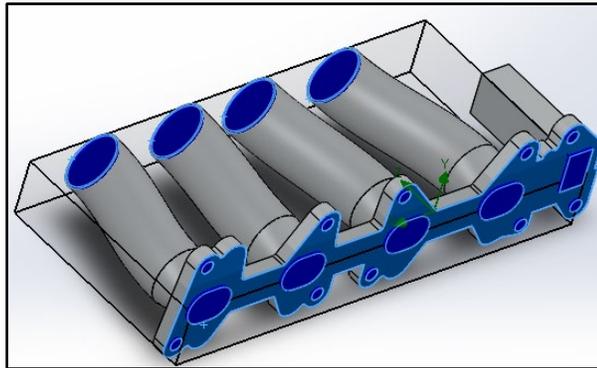
Los múltiples modelados en software se someten a simulación dando un valor inicial tomado por el anemómetro. El software arroja resultados como: velocidad de salida del fluido, flujo masico, flujo volumétrico y temperatura. Posteriormente se analiza los mejores resultados obtenidos para implementar al motor 4G13.

#### 3.8.1. Creación de lids

Primero se especifica que el flujo del aire sea por conductos cerrados. Así mismo SolidWorks cuenta con una herramienta de cierres que se llama Créate lindes, es decir son los sellos de las caras donde ingresa y sale el fluido, donde automáticamente el programa crea tapas y hermetiza el modelado.

#### Figura 67

*Creación de lids en las caras del múltiple*



*Nota.* Como crear un flujo cerrado para simular el recorrido de aire en el primer múltiple modelado. Tomado de SolidWorks 2020

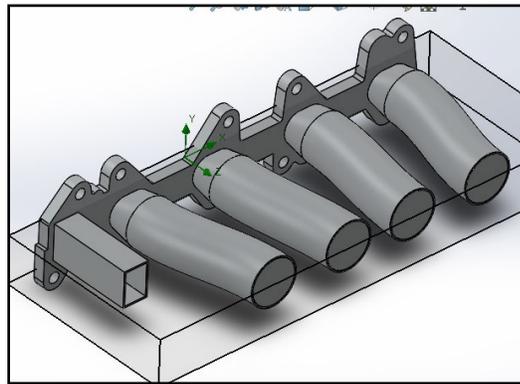
Por otro lado, se verifica la geometría y se aprecia la creación del fluido de control interno, para evitar errores en pasos siguientes.

### 3.8.2. Delimitación del dominio

Se denomina el espacio a simular, el software de forma automática busca los límites de la figura y crea el dominio, en caso de realizar un análisis de fluido externo es recomendable modificar el dominio, al realizar un análisis de fluido interno y no es necesario modificarlo.

#### Figura 68

*Creación de lids en las caras del múltiple*



*Nota.* Flujo cerrado para simular el recorrido de aire en el primer múltiple modelado.

Tomado de SolidWorks 2020

### 3.8.3. Parámetros iniciales

Los parámetros utilizados en la simulación, son los que se trabajó previamente, la simulación se realiza con la presión y temperatura de Sangolquí ( $763 \text{ mm Hg} = 101725 \text{ Pa}$ ),  $40.6 \text{ }^\circ\text{C}$  respectivamente. Tomada con el anemómetro cuando el motor está en su máximo régimen de giro.

**Figura 69**

*Parámetros iniciales de presión y temperatura*

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
<b>Thermodynamic Parameters</b>	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101725 Pa
Temperature	313.21 K
<b>Velocity Parameters</b>	
Parameter	Velocity
Velocity in X direction	0 m/s
Velocity in Y direction	0 m/s
Velocity in Z direction	0 m/s
<b>Turbulence Parameters</b>	

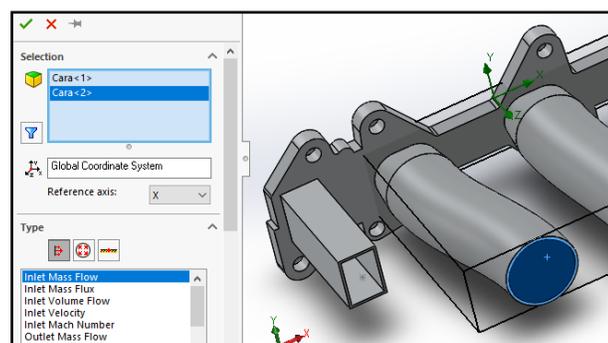
*Nota.* Modificación de parámetros físicos iniciales antes de simular el recorrido de aire en el primer múltiple modelado. Tomado de SolidWorks 2020

**a. Condición de entrada y salida del fluido.**

Para el estudio con ayuda del software se procede a seleccionar las caras de del ingresa fluido (aire) al múltiple de admisión, seleccionando la opción de ingreso Intel donde se puede ingresar la velocidad del fluido, flujo masico o flujo volumétrico en el estudio.

**Figura 70**

*Condiciones de datos de ingreso*

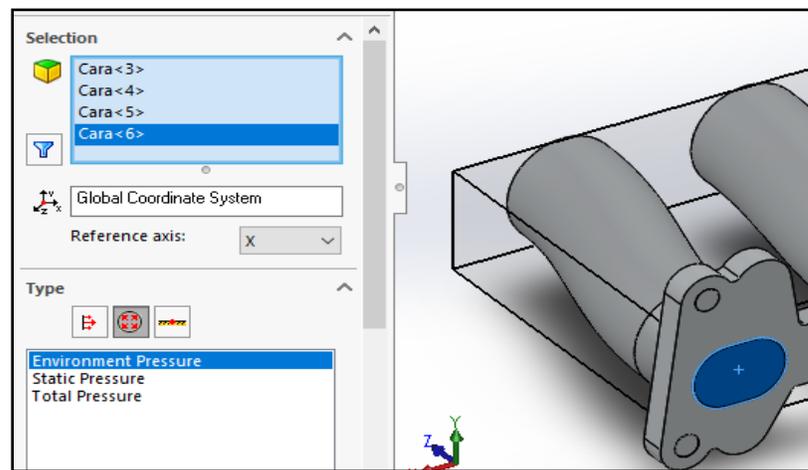


*Nota.* Manera de selección de caras por donde ingresa fluido y especificación de flujo, en el primer múltiple modelado. Tomado de SolidWorks 2020

Posteriormente se selecciona caras de salida del fluido, en condiciones atmosféricas.

### Figura 71

*Condiciones de salida del fluido*



*Nota.* Forma de selección de caras por donde termina el recorrido de aire en el primer múltiple modelado. Tomado de SolidWorks 2020

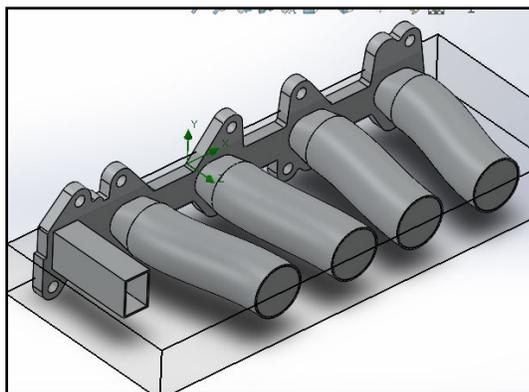
La interpretación de resultados se realiza con buen criterio ingenieril, interpretación de resultados por el software CFD en tres condiciones del motor mediante pruebas de campo partiendo del múltiple estándar.

**Tabla 18***Valores de ingreso en ductos rectos*

<b>Datos iniciales de ingreso a CFD</b>			
	Revoluciones	Velocidad	Temperatura
	(RPM)	(m/s)	(°C)
<b>Baja</b>	1000	1.2	38
<b>Media</b>	3500	5.2	40
<b>Alta</b>	6100	15.8	40.6

**3.8.4. Análisis conductos 0° de inclinación.**

La simulación de velocidades del aire al ingreso y salida por los conductos se realizan con buen criterio ingenieril, e interpretación de resultados obtenidos por el software CFD.

**Figura 72***Múltiple de admisión 0° de inclinación*

*Nota.* Muestra el dominio creado y forma de modelado en el primer múltiple. Tomado de SolidWorks 2020

Inicialmente en el modelado del múltiple con los ductos rectos, presenta curvaturas en su trayectoria donde se incrementa la velocidad del fluido, además en el tramo final moldea la forma del tubo circular a ovalado enfatizando el efecto Venturi, dando como resultado las pérdidas energía.

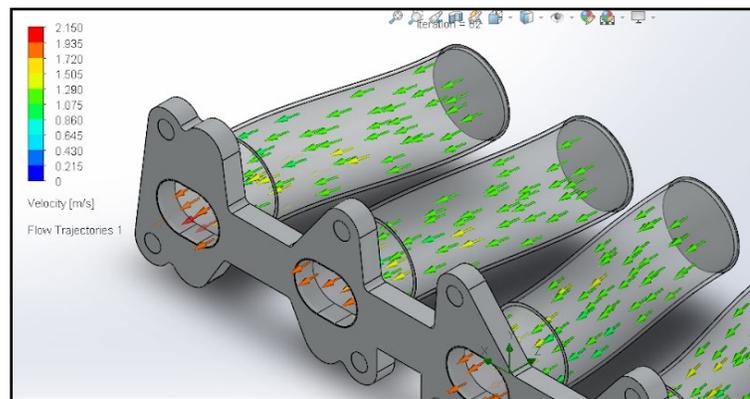
### a) **Velocidad del fluido**

#### a.1 **Carga baja - Ralentí**

Como se puede observar en la siguiente figura, el incrementó de velocidad es leve en la mayoría de su trayectoria, pero en su tramo final se incrementa la velocidad ocasionada por el efecto Venturi y geometría ovalada en la placa. Por consiguiente, se obtiene incremento de velocidad de aire de 1.2 m/s al ingreso, a una salida máxima de 2.15 m/s dando como resultado un incremento del 79.16%.

### Figura 73

*Múltiple 0° de inclinación a baja carga*



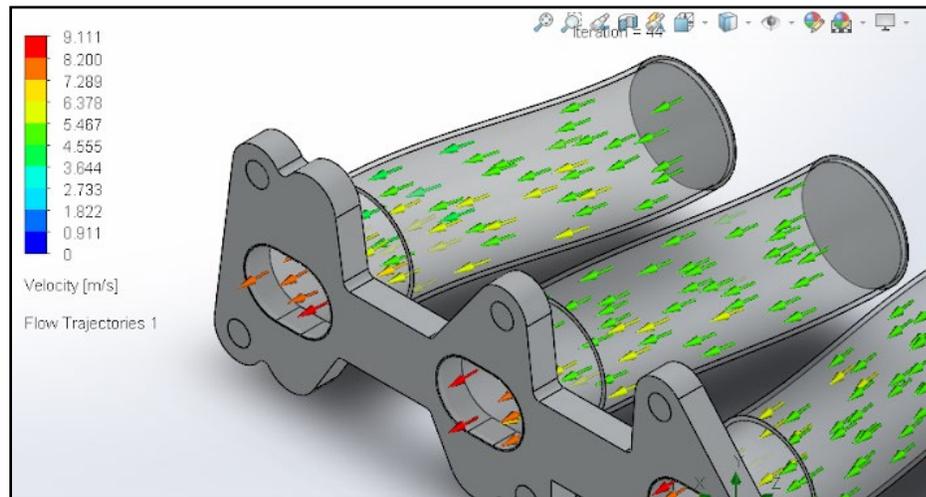
*Nota.* Valores de velocidad dentro del primer múltiple modelado en ralentí. Tomado de SolidWorks 2020

### a.2 Carga media – 3500 RPM

El incremento de flujo de aire cuando gira a 3500 RPM, con el múltiple recto, la velocidad del fluido se mantiene en su mayor parte, pero se incrementa levemente en sus curvaturas. Además, el mayor incremento de la velocidad del aire en la parte final donde el aire ingresa a una velocidad de 5.2 m/s, y tiene una salida máxima de 9.11 m/s dando como resultado un incremento del 75.20%.

#### Figura 74

*Múltiple 0° de inclinación – carga media*



*Nota.* Valores de velocidad dentro del primer múltiple modelado en condiciones de aceleración media. Tomado de SolidWorks 2020

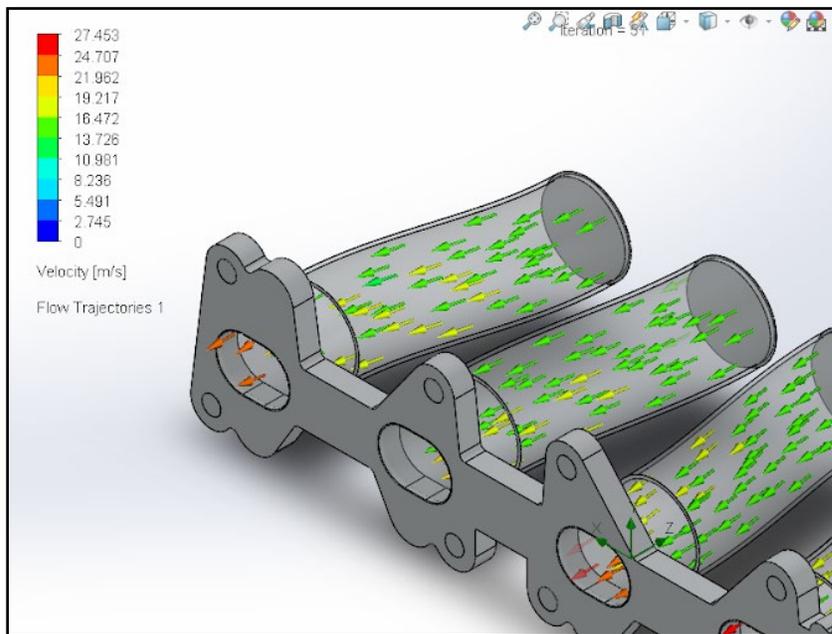
### a.3 Carga alta – 6100 RPM

El incremento de flujo de aire en altas revoluciones cuando gira a 3500 RPM, con el múltiple recto, la velocidad del fluido se mantiene en su mayor parte El incremento de

la velocidad del fluido es exitoso dando como resultado de 15.8 m/s al ingreso, a una salida máxima de 27.45 m/s dando como resultado un incremento del 73.73%.

### Figura 75

*Múltiple 0° de inclinación – carga alta*



*Nota.* Valores de velocidad dentro del primer múltiple modelado en condiciones de aceleración máxima. Tomado de SolidWorks 2020

La velocidad del aire dentro del modelado de múltiple recto, es despreciable en la mayoría parte de recorrido, además su mayor incremento fue en el tramo final ocasionado por el efecto Venturi. La siguiente tabla muestra la velocidad del aire de cada cilindro, indicando una similitud del 99% en los 4 conductos debido por su geometría.

Tabla 19

*Relación de velocidades a diferentes cargas*

<b>Valores de la velocidad obtenidos mediante software</b>					
<b>Cilindros</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Velocidad de ingreso</b>		<b>1,2</b>			
<b>Baja</b>	<b>(m/s)</b>				
<b>1000</b>	Velocidad de	2,147	2,144	2,141	2,149
<b>RPM</b>	salida				
	(m/s)				
<b>Velocidad de ingreso</b>		<b>5,2</b>			
<b>Media</b>	<b>(m/s)</b>				
<b>3500</b>	Velocidad de	9,05	9,022	9,003	9,078
<b>RPM</b>	salida				
	(m/s)				
<b>Velocidad de ingreso</b>		<b>15,8</b>			
<b>Alta</b>	<b>(m/s)</b>				
<b>6100</b>	Velocidad de	27,231	27,226	27,171	27,408
<b>RPM</b>	salida				
	(m/s)				

**b) Flujo másico y volumétrico**

**Tabla 20**

*Flujos másicos y volumétricos a diferentes cargas*

<b>Valores del flujo másico y volumétrico obtenidos del software</b>		
	<b>Cilindros</b>	<b>Promedio</b>
Baja	Flujo másico	0,0016
1000	(kg/s)	
RPM	Flujo volumétrico	0,014
	(m <sup>3</sup> /s)	
Media	Flujo másico	0,0071
3500	(kg/s)	
RPM	Flujo volumétrico	0,0062
	(m <sup>3</sup> /s)	
Alta 6100	Flujo másico	0,0216
RPM	(kg/s)	
	Flujo volumétrico	0,0189
	(m <sup>3</sup> /s)	

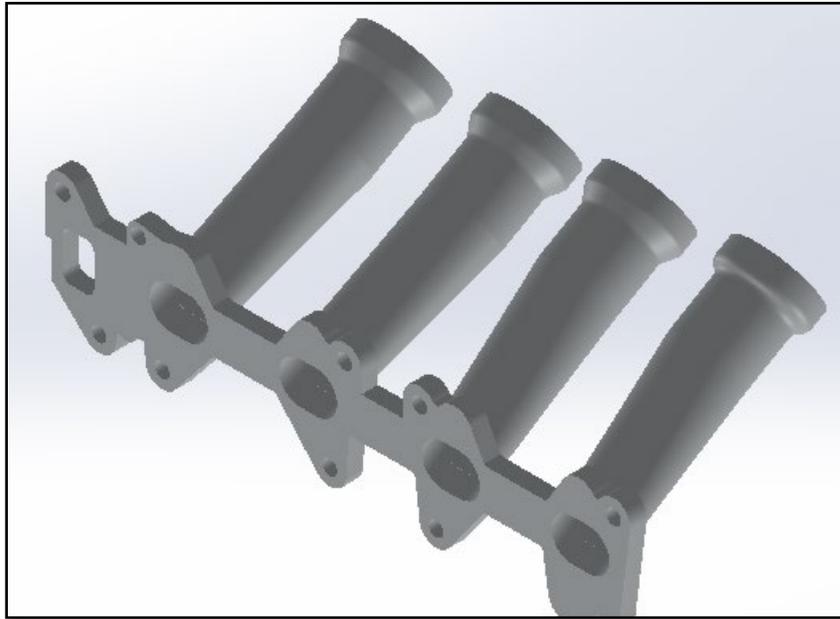
El flujo masico y volumétrica muestra ser constantes en los 4 ductos del múltiple y aumentan cuando su RPM aumenta.

**3.8.5. Análisis conductos a 45 ° de inclinación**

La interpretación de resultados se realiza con buen criterio ingenieril como en la primera propuesta.

**Figura 76**

*Múltiple de admisión a 45° de inclinación*



*Nota.* Geometría completa del segundo múltiple de admisión modelado. Tomado de SolidWorks 2020

El modelo a 45° 0° de inclinación presenta leves curvaturas minimizando las pérdidas de energía, en su trayectoria presenta el efecto Venturi, donde se incrementa la velocidad del fluido moldeando la forma del tubo circular a ovalado, optimizando las pérdidas de fluido.

**a) *Velocidad del fluido***

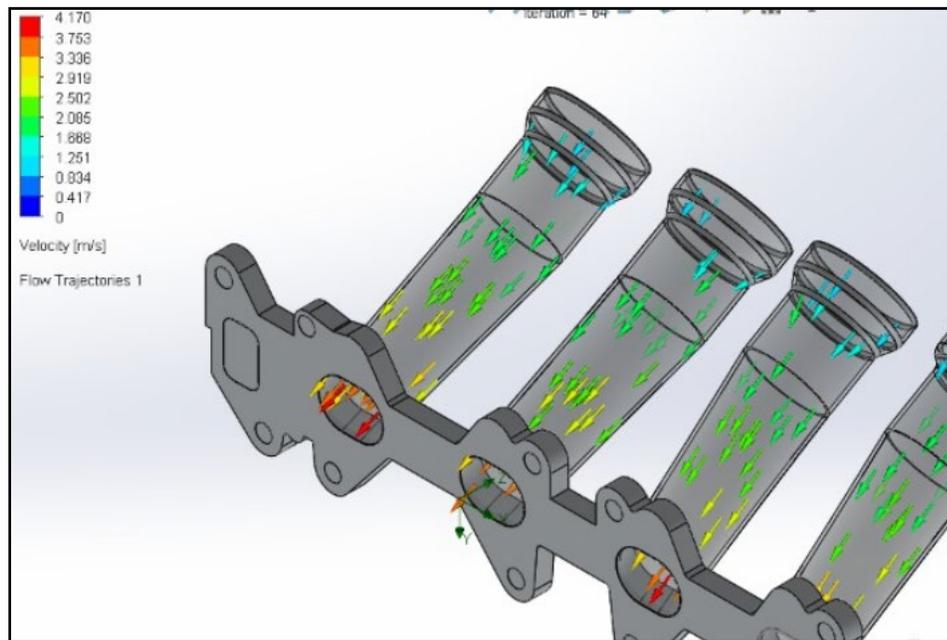
**a.1 Carga baja - Ralentí**

En la siguiente figura, se observa que el incremento de la velocidad del aire gracias al efecto Venturi, además, la velocidad del fluido aumenta en gran porcentaje en

su tramo final, Por consiguiente, el fluido que ingresa a 1.2 m/s, se incrementa a 4.17 m/s dando como resultado un incremento del 247.5%.

### Figura 77

*Múltiple a 45 ° de inclinación en carga baja*



*Nota.* Valores de velocidad dentro del segundo múltiple modelado cuando esta en ralentí.

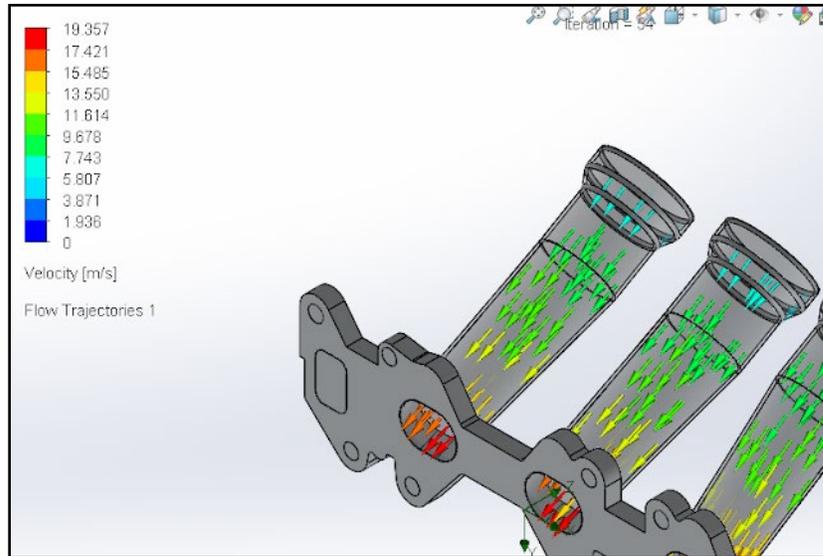
Tomado de SolidWorks 2020

#### **a.2 Carga media – 3500 RPM**

El incremento del fluido del aire cuando gira a 3500 RPM, la velocidad del fluido en el nuevo modelo a 45°, que ingresa 5.2 m/s, a una salida máxima de 19.35 m/s dando como resultado un incremento del 272.11%.

**Figura 78**

*Múltiple a 45 ° 0° de inclinación – carga media*



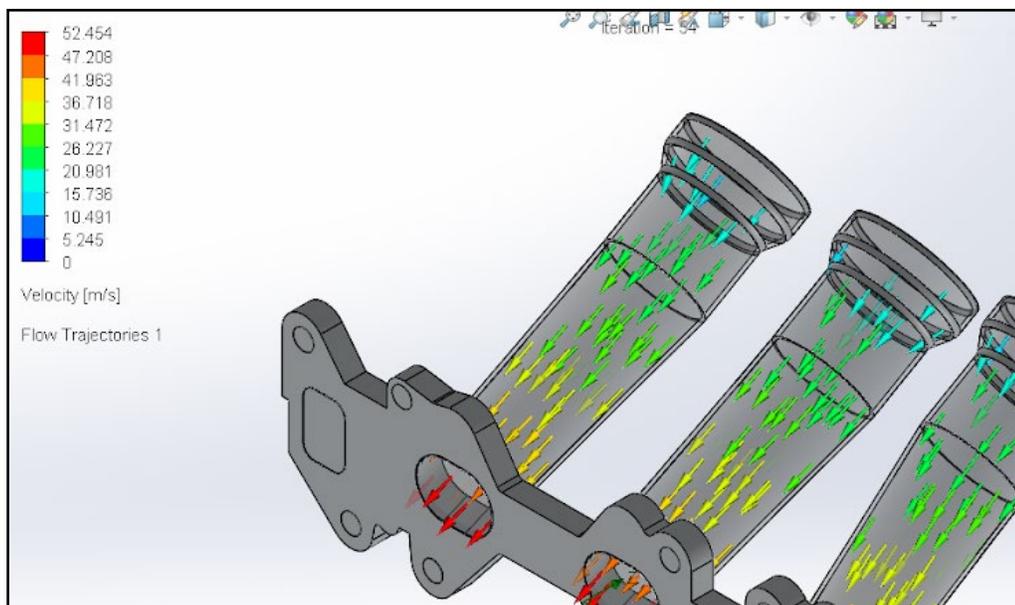
*Nota.* Valores de velocidad dentro del segundo múltiple modelado en condiciones de aceleración media. Tomado de SolidWorks 2020

### **a.3 Carga alta – 6100 RPM**

El incremento del flujo de aire cuando el motor gira a 6100 RPM es decir altas revoluciones, la velocidad del fluido en el nuevo modelo a 45° incrementa de forma satisfactoria. El aire no presenta pérdida de velocidad en toda de trayectoria, es decir que el aire que ingresa a 15.8 m/s, tiene una salida máxima de 52.46 m/s dando como resultado un incremento del 232.02%.

**Figura 79**

*Múltiple a 45° de inclinación – carga alta*



*Nota.* Valores de velocidad en toberas del múltiple modelado en condiciones de aceleración alta. Tomado de SolidWorks 2020

La velocidad del aire dentro del múltiple a 45°, fue optimo en la mayoría de su tramo, además su mayor incremento fue en el tramo final ocasionada por el efecto Venturi, moldeado del tubo circular al ovalado evitando obstrucciones de fluido en el interior de los conductos, convirtiéndose en pérdida de la velocidad del aire.

**Tabla 21***Relación de velocidades a diferentes cargas*

<b>Valores de la velocidad obtenidos del software</b>					
<b>Cilindros</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Baja 1000 RPM	Velocidad de ingreso (m/s)		1,2		
	Velocidad de salida (m/s)	4,17	4,16	4,171	4,169
Media 3500 RPM	Velocidad de ingreso (m/s)		5,2		
	Velocidad de salida (m/s)	19,365	19,35	19,351	19,349
Alta 6100 RPM	Velocidad de ingreso (m/s)		15,8		
	Velocidad de salida (m/s)	52,474	52,331	52,433	52,348

**b) Flujo másico y volumétrico**

**Tabla 22**

*Flujos másico y volumétrico a diferentes cargas*

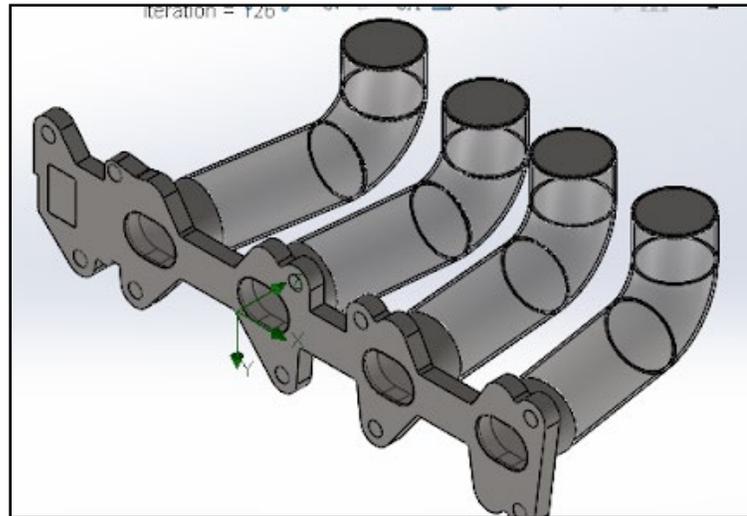
<b>Valores del flujo másico y volumétrico obtenidos del software</b>		
<b>Cilindros</b>		<b>Promedio</b>
Baja 1000	Flujo másico	0,0026
RPM	(kg/s)	
	Flujo volumétrico	0,0023
	(m <sup>3</sup> /s)	
Media	Flujo másico	0,0124
3500	(kg/s)	
RPM	Flujo volumétrico	0,0109
	(m <sup>3</sup> /s)	
Alta 6100	Flujo másico	0,0343
RPM	(kg/s)	
	Flujo volumétrico	0,03
	(m <sup>3</sup> /s)	

De igual manera se ha tomado los valores del flujo másico y volumétrico mediante el software CFD en diferentes regímenes, mostrando ser constantes en los 4 ductos del múltiple, además los valores obtenidos son superiores al primer modelado, de la misma manera son utilizados en la comparación con el próximo modelado.

### 3.8.6. Análisis con codos a 90° de inclinación

**Figura 80**

*Múltiple de admisión a 90° de inclinación*



*Nota.* Forma del tercer múltiple de admisión modelado. Tomado de SolidWorks 2020

Como se aprecia en la figura anterior, el modelo presenta curvaturas pronunciadas a 90°, en su trayectoria donde se pretende incrementar la velocidad del fluido y además en el tramo final de moldea la forma del tubo circular a ovalado, optimizando las pérdidas de fluido.

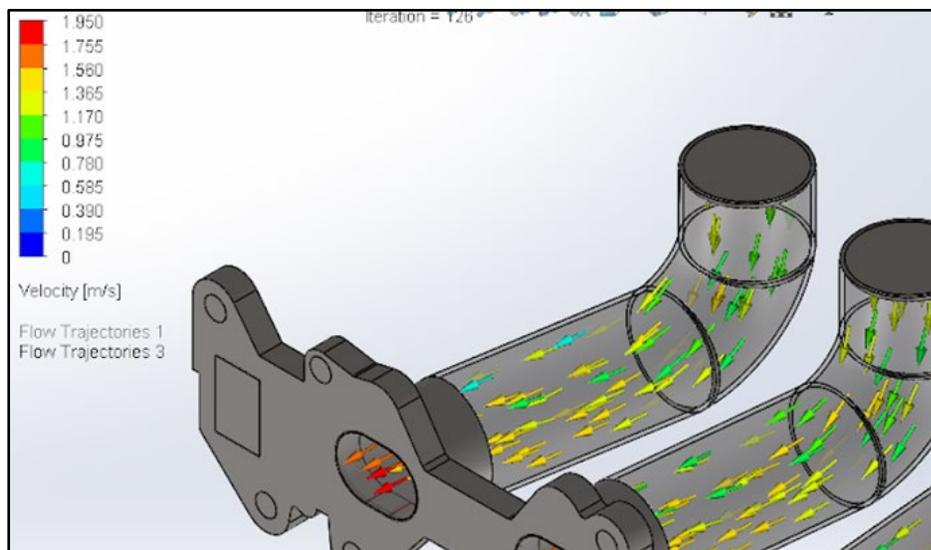
#### **a) Velocidad del fluido**

##### **a.1 Carga baja – Ralentí**

En la siguiente figura, el incremento de la velocidad del fluido no es óptimo por su geometría del múltiple donde se observa que velocidad del fluido aumenta parcialmente, pero a su vez pierde velocidad en codo a 90°. Por consiguiente, el fluido que ingresa a 1.2 m/s, se incrementa a 1.95 m/s dando como resultado un incremento del 62.5%.

**Figura 81**

*Múltiple a 90 ° de inclinación en carga baja*



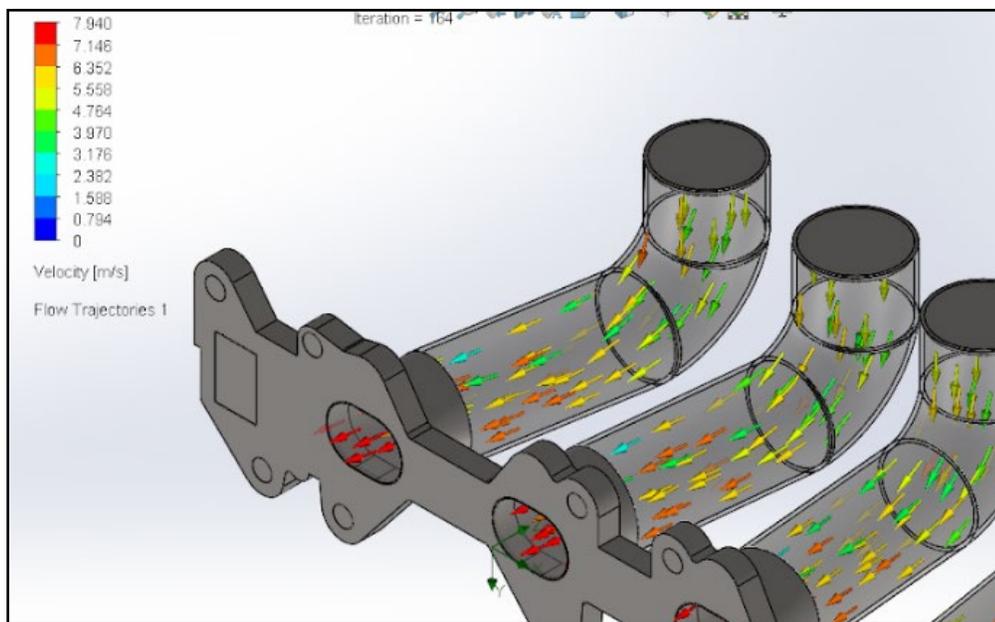
*Nota.* Valores de velocidad dentro del tercer múltiple modelado en condiciones de aceleración ralenti. Tomado de SolidWorks 2020

### **a.2 Carga media – 3500 RPM**

El incremento de la velocidad del fluido cuando gira a 3500 RPM, estableciendo la velocidad de ingreso de 5.2 m/s a, a una salida máxima de 7.94 m/s dando como resultado un incremento del 52.7%. Además, existe pérdida de velocidad de fluido a 2.4 m/s en el dobles a 90 disminuyendo su eficiencia en 53.84 %.

**Figura 82**

*Múltiple a 90° de inclinación – carga media*



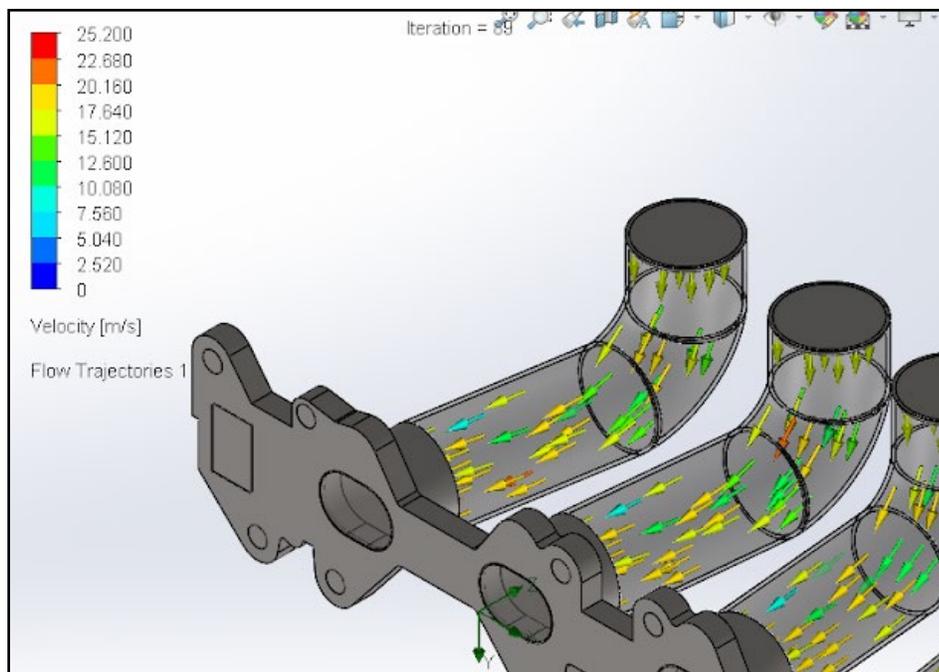
*Nota.* Valores de velocidad dentro del tercer múltiple modelado en condiciones de aceleración media. Tomado de SolidWorks 2020

### **a.3. Carga alta – 6100 RPM**

El incremento de la velocidad no es óptimo, como se puede observar en la siguiente figura la salida del fluido es inferior a las demás propuestas, el aire presenta pérdidas de velocidad desde el tramo de curvatura hasta la salida mostrando que la velocidad de salida es 25.20 m/s, dando como resultado un incremento del 59.49%.

**Figura 83**

*Múltiple a 90 ° 0de inclinación – carga alta*



*Nota.* Valores de velocidad dentro del tercer múltiple modelado en condiciones de aceleración máxima. Tomado de SolidWorks 2020

Con respecto los modelos anteriores, el incremento de la velocidad del aire no es óptimo ya que presenta pérdida de velocidad del aire dando como resultado la pérdida de energía. Así mismo en la siguiente tabla de observa que la velocidad del fluido en cada cilindro se parcialmente similares debido a la simetría de los conductos obteniendo una similitud del 99% independientemente.

**Tabla 23***Relación de velocidades a diferentes cargas*

<b>Valores de la velocidad obtenidos del software</b>					
<b>Cilindros</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Baja 1000	Velocidad de ingreso		1,2		
RPM	(m/s)				
	Velocidad de				
	salida	1,929	1,935	1,932	1,937
	(m/s)				
Media	Velocidad de ingreso		5,2		
3500	(m/s)				
RPM	Velocidad de				
	salida	8,391	8,394	8,394	8,388
	(m/s)				
Alta 6100	Velocidad de ingreso		15,8		
RPM	(m/s)				
	Velocidad de				
	salida	25,546	25,553	25,554	25,539
	(m/s)				

**b) Flujo másico y volumétrico**

**Tabla 24**

*Flujos másico y volumétrico a diferentes cargas*

<b>Valores del flujo másico y volumétrico obtenidos del software</b>		
	<b>Cilindros</b>	Promedio
Baja 1000 RPM	Flujo masico (kg/s)	0,0019
	Flujo volumétrico (m3/s)	0,0017
Media 3500 RPM	Flujo masico (kg/s)	0,007
	Flujo volumétrico (m3/s)	0,0062
Alta 6100 RPM	Flujo masico (kg/s)	0,0214
	Flujo volumétrico (m3/s)	0,0188

Inicialmente los valores del flujo másico y volumétrico son constantes en los 4 ductos del múltiple, los cuales son utilizados en la comparación con los demás múltiples.

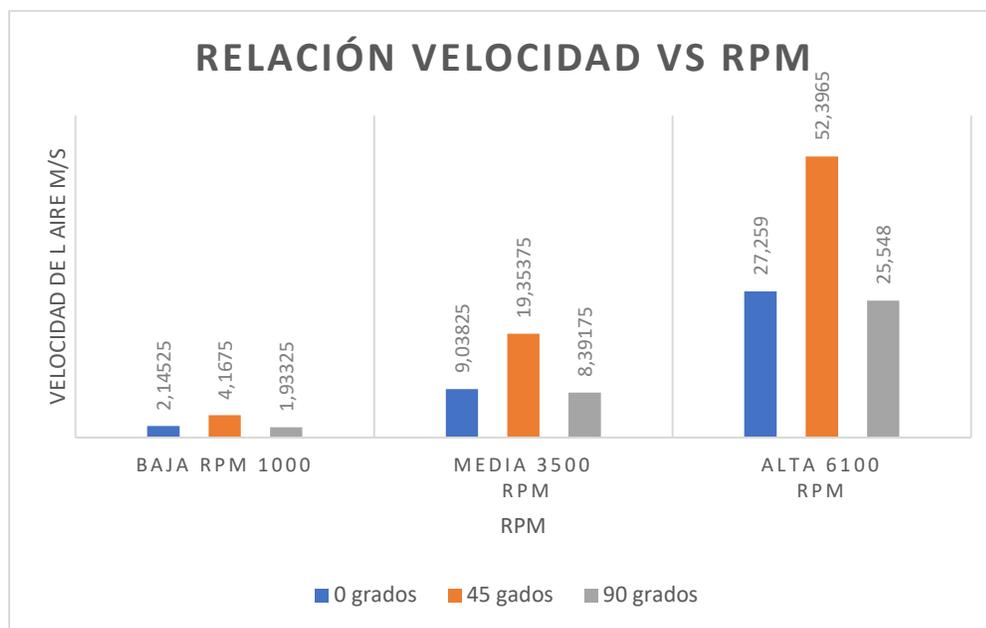
**3.8.7. Análisis comparativo**

A continuación, se muestran diferentes tablas enfocadas en la velocidad del aire, flujo másico y volumétrico obtenidos mediante el programa CFD, donde se puede

evidenciar las diferencias entre los modelados del múltiple de admisión, a diferente régimen de funcionamiento y así seleccionar el mejor.

**Figura 84**

*Comparación de las velocidades en función de las RPM*

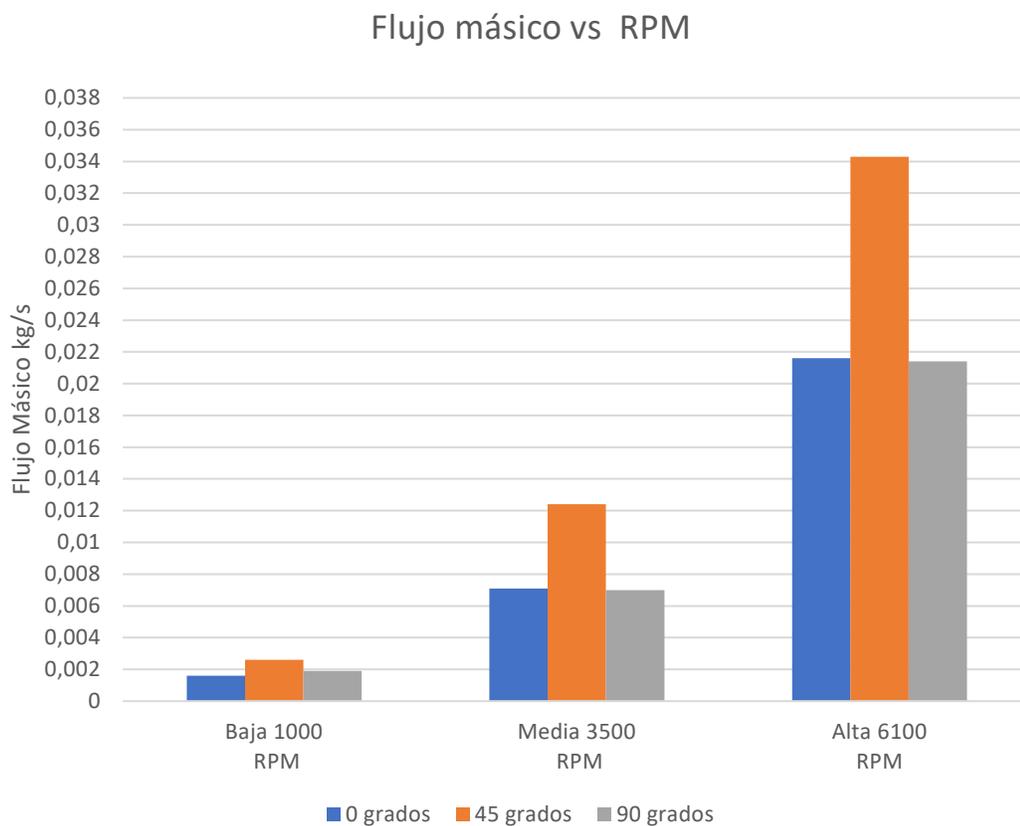


*Nota.* Porcentaje de incremento de velocidad de aire dentro de las toberas en los múltiplos de admisión modelados.

En primer lugar, el modelado que destaca en la dosificación del aire a las cámaras de admisión es el múltiple a 45 grados, donde el incremento de la velocidad del aire tanto en bajas, medias y altas revoluciones a comparación de los otros modelados. En definitiva, el múltiple a 45 grados sobresale en un 90% al 110% al múltiple recto y al 90 grado.

**Figura 85**

*Comparación del flujo másico en función de las RPM*

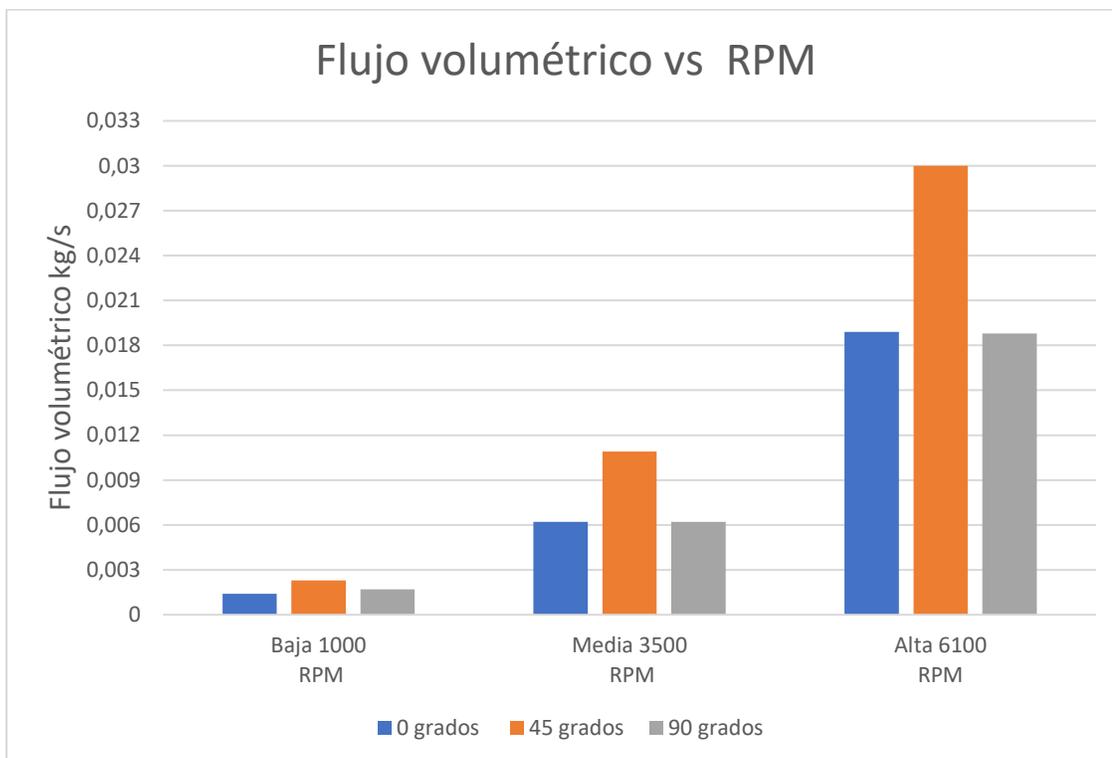


*Nota.* Flujo másico de los diferentes múltiples modelados, subdividido por rpm de giro del motor.

En segundo lugar, el modelado que destaca en la dosificación del flujo másico a las cámaras de admisión es el múltiple a 45 grados, donde la cantidad de flujo másico tanto en bajas, medias y altas revoluciones es superior a comparación de los otros modelados. En definitiva, el múltiple a 45 grados sobresale en un 57% a 75% al múltiple recto y al 90 grado.

**Figura 86**

*Comparación del flujo volumétrico en función de las RPM*



*Nota.* Flujo volumétrico de los diferentes múltiples modelados, subdividido por rpm de giro del motor.

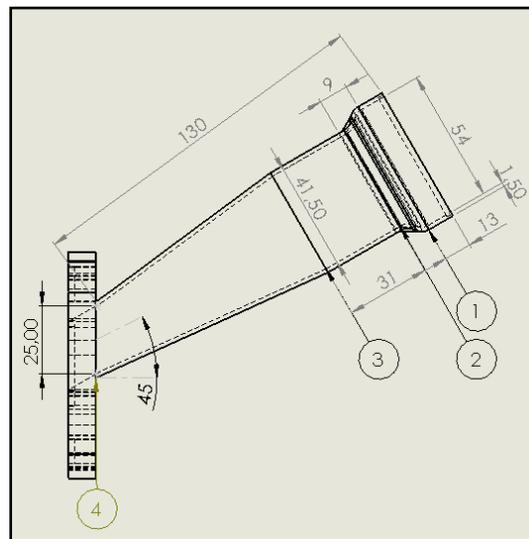
En segundo lugar, el modelado que destaca en la dosificación del flujo volumétrico a las cámaras de admisión es el múltiple a 45 grados, tanto en bajas, medias y altas revoluciones es superior a comparación de los otros modelados. En definitiva, el múltiple a 45 grados sobresale en un 58% a 76% al múltiple recto y al 90 grado.

### 3.9. Cálculos para el diseño seleccionado

Una vez obtenido los datos del diseño con mejor rendimiento se procede a obtener las pérdidas generadas en la unión con los ITB, sección recta a 45 grados y unión del múltiple con el cabezote.

**Figura 87**

*Diseño del múltiple de admisión a 45°*



*Nota.* Cotas de las toberas del múltiple de admisión seleccionado para implementar en el motor 4G13

El múltiple de admisión diseñado consta de 3 secciones las cuales son:

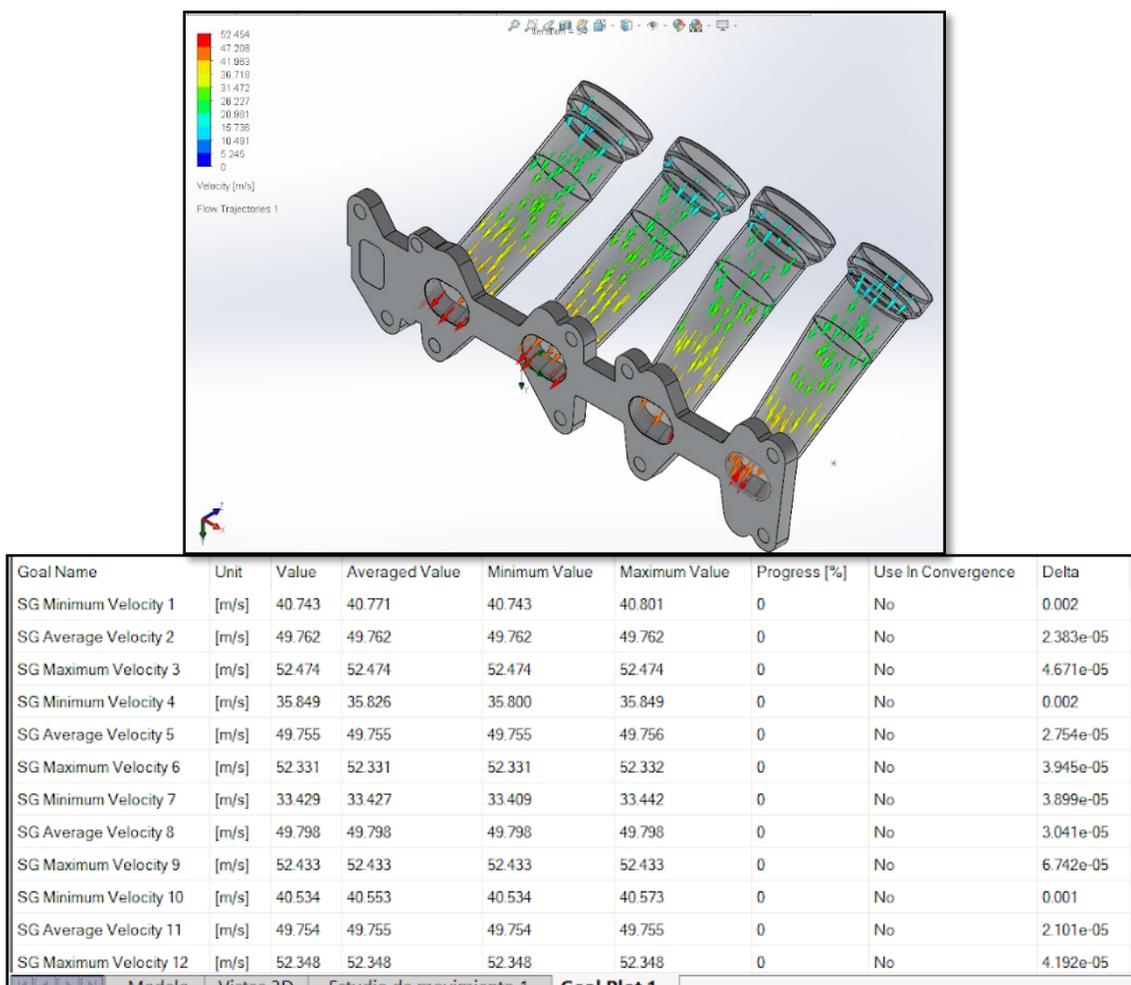
- 1-2    Captor ITB
- 2-3    Colector
- 3-4    Colector unión base cabezote

### 3.10. Cálculo de velocidades

Para el cálculo de velocidades en el múltiple se toma como base los datos obtenidos en la simulación.

**Figura 88**

*Velocidades presentadas en el múltiple de admisión 45 grados*



*Nota.* Valores de velocidad de aire; máxima, promedio y baja en cada tobera del múltiple de admisión seleccionado.

Para comprobar los datos de la simulación se calcula las velocidades del aire en sus diferentes secciones del múltiple de admisión, por lo cual se iniciará con la velocidad tomada con el anemómetro a 2500 rpm del motor que son las rpm a las cuales va a estar trabajando el motor 4G13.

$$V_p = 15.8 \frac{m}{s}$$

### Velocidad del tramo 1-2

$$V_p * A_1 = V_{1-2} * A_2 = V_{2-3} * A_3 = V_{3-4} * A_4$$

$$V_p = 15.8 \frac{m}{s}$$

$$A_1 = \pi * r^2 = \pi * 0.027^2 = 2.290 \times 10^{-3} m^2$$

$$A_2 = \pi * r^2 = \pi * 0.02075^2 = 1.353 \times 10^{-3} m^2$$

$$A_3 = \pi * r^2 = \pi * 0.02075^2 = 1.353 \times 10^{-3} m^2$$

$$A_4 = \pi * r^2 = \pi * 0.0125^2 = 4.91 \times 10^{-4} m^2$$

$$V_p * A_1 = V_{1-2} * A_2$$

$$V_{1-2} = \frac{V_p * A_1}{A_2}$$

$$V_{1-2} = \frac{15.8 \frac{m}{s} * 2.290 \times 10^{-3} m^2}{1.353 \times 10^{-3} m^2}$$

$$V_{1-2} = 26.74 \frac{m}{s}$$

**Velocidad del tramo 2-3**

$$V_{1-2} * A_2 = V_{2-3} * A_3$$

$$V_{2-3} = \frac{V_{1-2} * A_2}{A_3}$$

$$V_{2-3} = \frac{26.74 \frac{m}{s} * 1.353 \times 10^{-3} m^2}{1.353 \times 10^{-3} m^2}$$

$$V_{2-3} = 26.74 \frac{m}{s}$$

**Velocidad del tramo 3-4**

$$V_{2-3} * A_3 = V_{3-4} * A_4$$

$$V_{3-4} = \frac{V_{2-3} * A_3}{A_4}$$

$$V_{3-4} = \frac{26.74 \frac{m}{s} * 1.353 \times 10^{-3} m^2}{4.91 \times 10^{-4} m^2}$$

$$V_{3-4} = 73.68 \frac{m}{s}$$

**3.11. Número de Reynolds**

Se calcula el valor del número de Reynolds para examinar si el diseño sigue un flujo de aire laminar o turbulento, por ello se procederá a calcular en las tres secciones del múltiple.

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu}$$

Donde:

*Re* = Número de reynolds

$D = \text{Diámetro interior de la tubería [m]}$

$v = \text{Velocidad del fluido } \left[\frac{m}{s}\right]$

$\rho = \text{Densidad del fluido; Aire} = 1.113 \frac{kg}{m^3}$

$\mu = \text{Viscosidad dinámica del fluido; Aire} = 1.926 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}$

### Tramo 1-2

$$Re_{1-2} = \frac{D_1 * v * \rho}{\mu}$$

$$Re_{1-2} = \frac{0.054 \text{ m} * 15.8 \frac{m}{s} * 1.113 \frac{kg}{m^3}}{1.926 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$Re_{1-2} = \mathbf{49304.86}$$

Como  $Re \geq 4000$  es considerado como un flujo turbulento.

### Tramo 2-3

$$Re_{2-3} = \frac{D_2 * v_{2-3} * \rho}{\mu}$$

$$Re_{2-3} = \frac{0.0415 \text{ m} * 26.74 \frac{m}{s} * 1.113 \frac{kg}{m^3}}{1.926 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$Re_{2-3} = \mathbf{64128.1}$$

Como  $Re \geq 4000$  es considerado como un flujo turbulento.

**Tramo 3-4**

$$Re_{3-4} = \frac{D_4 * v_{3-4} * \rho}{\mu}$$

$$Re_{3-4} = \frac{0.025 \text{ m} * 73.68 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.113 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.926 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$Re_{3-4} = \mathbf{106445.8}$$

Como  $Re \geq 4000$  es considerado como un flujo turbulento.

**3.12. Pérdidas de energía**

Para calcular las pérdidas en la tubería se realiza por tramos.

Tramo 1-2

El tramo 1-2 tiene una inclinación y una variación entre su diámetro inicial y su diámetro final teniendo así pérdidas de energía por contracción gradual, la cual se calcula mediante la siguiente ecuación.

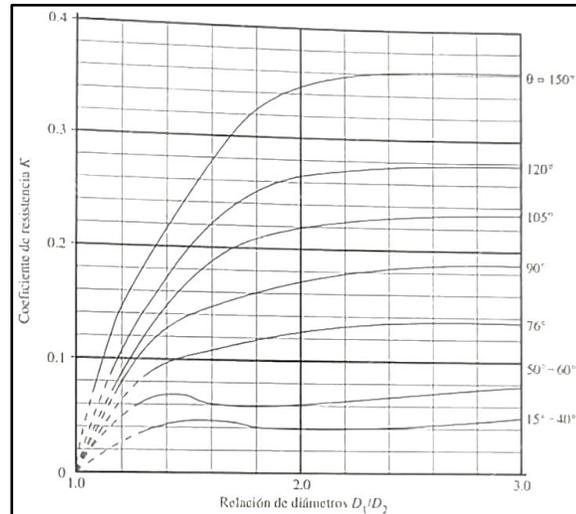
$$h_L = K \left( \frac{V^2}{2g} \right) [\text{mca}]$$

Para determinar el valor de K, la figura 88 indica la relación

$$\left( \frac{D1}{D2} \right) \text{ y } \theta$$

**Figura 89**

*Coefficiente de resistencia- contracción gradual con  $\theta \geq 15^\circ$*



*Nota.* Equivalencia del coeficiente de resistencia, obtenido mediante la relación de diámetros inicial y final de la tubería con el ángulo de inclinación.

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{54}{41.5} = 1.3$$

$$\theta = 102^\circ$$

Por tabla el valor de  $K=0.12$

$$h_{1-2} = K \left( \frac{V_{1-2}^2}{2g} \right)$$

$$h_{1-2} = 0.12 \left( \frac{\left( 26.74 \frac{m}{s} \right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s}} \right)$$

$$h_{1-2} = 4.371 \text{ mca}$$

## Tramo 2-3

En este tramo existe pérdida por la sección recta esta se dispone mediante la siguiente ecuación.

$$h_{2-3} = \left( f \frac{\Sigma L}{D} \right) * \frac{V_{2-3}}{2g}$$

$$h_{2-3} = \left( 0.0215 \frac{0.031 \text{ m}}{0.0415 \text{ m}} \right) * \frac{\left( 26.74 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\mathbf{h_{2-3} = 0.585 \text{ mca}}$$

## Tramo 3-4

El tramo 3-4 tiene una inclinación y una variación entre su diámetro inicial y su diámetro final teniendo así pérdidas de energía por contracción gradual la cual se calcula mediante la siguiente ecuación.

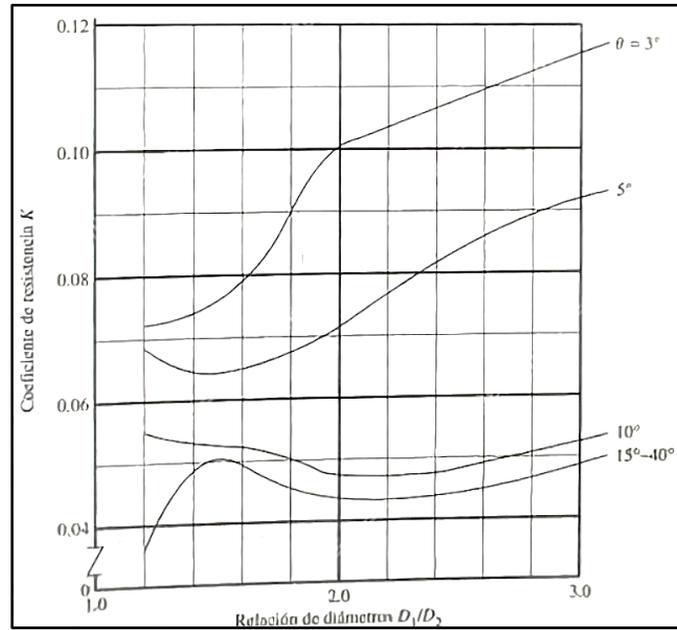
$$h_L = K \left( \frac{V^2}{2g} \right) [\text{mca}]$$

Para determinar el valor de K, la figura 89 indica la relación

$$\left( \frac{D1}{D2} \right) \text{ y } \theta$$

**Figura 90**

Coefficiente de resistencia- contracción gradual con  $\theta < 15^\circ$



*Nota.* Equivalencia del coeficiente de resistencia, obtenido mediante la relación de diámetros inicial y final de la tubería con el ángulo de inclinación.

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{41.5}{25} = 1.66$$

$$\theta = 12^\circ$$

Por tabla el valor de  $K=0.05$

$$h_{3-4} = K \left( \frac{V_{3-4}^2}{2g} \right)$$

$$h_{3-4} = 0.05 \left( \frac{\left( 73.68 \frac{m}{s} \right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s}} \right)$$

$$h_{3-4} = 13.83 \text{ mca}$$

Pérdida Total de energía

$$H_T = h_{1-2} + h_{2-3} + h_{3-4}$$

$$H_T = 4.371 \text{ mca} + 0.585 \text{ mca} + 13.83 \text{ mca}$$

$$H_T = 18.786 \text{ mca}$$

### 3.13. Montaje y adecuaciones de los sistemas

A continuación, se explica el montaje del múltiple de admisión, los ITB y además el sistema de alimentación de combustible en el vehículo.

#### 3.13.1. Montaje del múltiple de admisión e ITBS

Para la implementación del cuerpo de aceleración es importante construir el múltiple de admisión con bases de sujeción de los ITB. Se realiza los siguientes pasos.

**Tabla 25**

*Montaje del múltiple de admisión e ITB*

Pasos	Descripción	Foto
1	Se limpia el empaque del múltiple, y lima los bordes internos y externos retirando partículas de polvo y limallas.	

Pasos	Descripción	Foto
2	Se coloca una fina capa de silicón automotriz al empaque y cara del múltiple para que selle correctamente.	
3	Se monta el múltiple de admisión empernando en las sujeciones de la culata.	
4	Se coloca el riel de inyectores con los inyectores empernándolos en las sujeciones de los ITB.	
5	Se monta los ITB al múltiple a presión y empernando en las sujeciones del múltiple.	

### ***3.13.2. Montaje del sistema de alimentación de combustible***

La bomba de gasolina del sistema original del vehículo era mecánica de baja presión, la cual se reemplaza por una nueva bomba eléctrica externa de alta presión marca

AVICAR y con ayuda de una desadora TOMEI se mantiene la presión en el riel, para la instalación se realiza el siguiente procedimiento.

**Tabla 26**

*Montaje del sistema de alimentación de gasolina*

Pasos	Descripción	Foto
1	En la línea de combustible se coloca el filtro de combustible, para proteger de suciedades a la bomba.	
2	Con manguera 5/16 se conecta la línea del filtro a la bomba de combustible.	
3	Se conecta la línea de combustible proveniente de la bomba al riel de inyectores con manguera caucho, sujetado con abrazaderas.	

Pasos	Descripción	Foto
4	<p>e instala un regulador de presión marca Tomei, para mantener la presión de combustible en el riel. Está conectada de la siguiente manera.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conexión al riel de inyectores.</li> <li>2. Medidor de presión.</li> <li>3. Retorno de combustible</li> <li>4. Conexión de vacío de los ITBs.</li> </ol>	
5	<p>Se regula la presión en el riel a 3.5 bares.</p>	

### 3.13.3. Bobinas independientes

Debido a la meta de lograr el sistema de inyección secuencial, se opta por bobinas independientes del Volkswagen Seat de 4 pines que son: 2 masa, 1 positivo y señal conectados de la siguiente manera.

1. El pin número 3 del conector al positivo de batería saliente del relé.
2. Los pines 1 y 2 del conector se conecta a masa de batería.

3. El pin número 4 se conecta a señal de la computadora, para formar el arco voltaico en las bujías.

### Figura 91

#### *Bobinas independientes AVICAR*

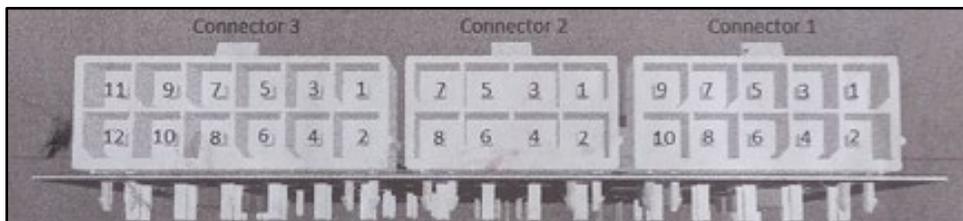


*Nota.* Forma de instalación de bobinas independientes y modo de cubrir el cableado eléctrico del sistema de encendido.

### 3.14. Control electrónico (Arnés)

El sistema de inyección secuencial se controla con la implementación de la computadora MegaSquirt3 con la cual se obtiene 4 pulsos independientes a los inyectores de combustible, además de 4 señales independientes para la bobina COP entre las características más importantes.

La instalación y la facilidad de obtención también son factores que ayudan a la elección de esta computadora, cabe recalcar que la MegaSquirt3 necesita las señales de algunos sensores como TPS, CKP, CMP, IAT, MAP el cual viene integrado en la misma ECU y el sensor de Oxígeno, para que los valores sean más precisos y regulables.

**Figura 92***Pin Out MS3*

*Nota.* Numeración de pines MegaSquirt3 para la conexión de sensores, masas, voltajes y señales. (Sptronics)

Para la conexión de la computadora, se basa en los Pin Outs del manual de instalación, la MS3 contiene 3 conectores diferentes como se muestra en las siguientes tablas.

**Tabla 27***Pin Out MS3, Connector 1*

<b>Pin</b>	<b>Nombre</b>	<b>Código de Color</b>
<b>1</b>	Inyector 1 output	Marrón
<b>2</b>	Inyector 2 output	Marrón
<b>3</b>	Inyector 3 output	Marrón
<b>4</b>	Inyector 4 output	Marrón
<b>5</b>	Bomba de combustible	Café

<b>Pin</b>	<b>Nombre</b>	<b>Código de Color</b>
<b>6</b>	Low side output 1	Café
<b>7</b>	Output	1 Café
<b>8</b>	Salida IAC output 2	Café
<b>9</b>	Salida IAC output 3	Café
<b>10</b>	GND	Negro

**Tabla 28**

*Pin Out MS3, Connector 2*

<b>Pin</b>	<b>Nombre</b>	<b>Código de Color</b>
<b>1</b>	Bobina output 1	Verde
<b>2</b>	Bobina output 2	Verde
<b>3</b>	Bobina output 3	Verde
<b>4</b>	Bobina output 4	Verde
<b>5</b>	Tacómetro output	Azul
<b>6</b>	Voltaje de referencia	Rosa
<b>7</b>	Positivo Switch 12V	Rojo
<b>8</b>	GND	Negro

**Tabla 29***Pin Out MS3, Connector 3*

<b>Pin</b>	<b>Nombre</b>	<b>Código de</b>
<b>1</b>	CKP input	Amarillo
<b>2</b>	CKP input	Negro
<b>3</b>	CMP input	Amarillo
<b>4</b>	CMP input	Negro
<b>5</b>	MAP -MAF input	Blanco
<b>6</b>	Sensor de temperatura	Blanco
<b>7</b>	Sensor de temperatura	Blanco
<b>8</b>	Sensor de oxígeno O2	Blanco
<b>9</b>	Sensor de posición de	Blanco
<b>10</b>	Sensor de golpeteo	Blanco
<b>11</b>	Lauch control input 1	Blanco
<b>12</b>	External input 2	Blanco

Para elaborar el nuevo arnés que conecta la computadora, sensores y actuadores, se instala relés controlados con la llave del Switch, contacto IGN el cual permite el paso de 12V procedente de la batería para magnetizar el solenoide de los mismos.

**Tabla 30***Elaboración del arnés*

<b>Pasos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Foto</b>
<b>1</b>	Se enlaza la fusilera a los relés que conecta a la bomba de combustible, computadora, inyectores, y bobinas.	
<b>2</b>	Se identifica los pines a utilizar y señala los cables que conectan a los sensores y actuadores.	
<b>3</b>	Se junta los 3 conectores mediante cinta y además se realiza grupos de cables para una fácil manipulación en la instalación.	
<b>4</b>	Se pasa el arnés desde el habitáculo hacia el motor pasando por los cubre polvos.	

Pasos	Descripción	Foto
5	Se identifica los 2 alambres, positivos de batería y positivo del switch de encendió, y conectar a los positivos que salen de los relés.	
6	Se ordena los cables dependiendo de la ubicación de los sensores y actuadores.	

### 3.15. Sensores

Para controlar de manera eficiente la inyección de combustible y chispa eléctrica es necesario sensores que brinden información del estado del motor así como parámetros físicos y ambientales de donde se encuentre circulando el vehículo, con ello se logra obtener un valor exacto de partículas de combustible pulverizado en la cámara de combustión obteniendo así una mezcla estequiométrica exacta, al igual obtener el tiempo correcto en el salto y duración del arco eléctrico en la bujía que encienda la mezcla sin detonaciones y obtener una mejor quema que el sistema estándar del vehículo.

#### 3.15.1. Sensor CKP

Se opta por la implementación del sensor inductivo del Kia Rio, acorde a la compatibilidad del motor Mitsubishi Lancer.

**Figura 93***Sensor CKP inductivo*

*Nota.* Muestra del sensor inductivo CKP usado en el proyecto.

Para que el sensor inductivo CKP funcione es necesario una rueda fónica, con diámetro de 150 mm.

**Figura 94***Sensor CKP inductivo*

*Nota.* Forma de instalación de la rueda fónica con la polea conectada al cigüeñal.

En la instalación del CKP se analiza la mejor ubicación y medios de sujeción para el sensor, después se realiza una base metálica de acuerdo a las medidas del sensor y ubicación. Al finalizar, el sensor tiene una separación de 1 mm a los dientes de la rueda, de esta manera el sensor recepta de manera correcta el giro del cigüeñal y envía la señal a la computadora.

### **Figura 95**

*Colocación del sensor CKP*



*Nota.* Manera de instalar la rueda fónica y sensor CKP en el motor 4G13.

#### **3.15.2. Sensor CMP**

Para la obtención de la señal del CMP, se maneja la señal de la bobina captadora del distribuidor del vehículo, esta conexión se realiza a los Pin Out provenientes de la computadora, la bobina capta el giro del árbol de levas convirtiéndolo en pulsos que recepta la computadora y esta a su vez controla el funcionamiento de las bobinas independientes en la ignición.

**Figura 96**

*Colocación del sensor CMP*



*Nota.* Posición del distribuidor usado como sensor CMP para captar señal a la ECU..

**3.15.3. Sensor IAT**

Para colocar el sensor de temperatura de múltiple de admisión en el proyecto, por el uso de ITBs es imposible colocarlo dentro del sistema de aspirado del aire. En consecuencia, se optó por colocarlo afuera sujetado mediante amarras al riel de inyectores, el sensor capta la temperatura en la cual se encuentra el habitáculo del motor y envía la señal a la computadora.

**Figura 97**

*Colocación del sensor IAT*



*Nota.* Ubicación y conexión del sensor IAT en el motor 4G13.

#### **3.15.4. Sensor ECT**

Para la colocar el sensor de temperatura del refrigerante, se realiza una toma roscada por donde circula el líquido refrigerante, este sensor permite conocer la temperatura que se encuentra funcionando el motor. Además, al colocar el sensor en su toma se usa teflón con la finalidad de tener el apriete adecuado y así evitar posibles filtraciones del líquido.

#### **Figura 98**

*Colocación del sensor ECT*



*Nota.* Forma de instalación del sensor ECT y ubicación en el motor 4G13.

#### **3.15.5. Sensor TPS**

El sensor de posición de la mariposa tiene 3 cables los cuales son: señal, masa y 5V de voltaje de referencia de la computadora, el sensor transforma el ángulo apertura de la mariposa en voltaje, finalmente el sensor está integrado en la parte lateral de los ITBS.

**Figura 99**

*Colocación del sensor TPS*



*Nota.* Ubicación y forma del sensor tps.

### 3.16. Programación de la computadora

Para programar la ECU MegaSquirt 3, es necesario instalar el programa Tunerstudio MS versión 3.1.0 MS el cual calibra sensores, mezcla estequiométrica, curvas de sensores, etc.

**Figura 100**

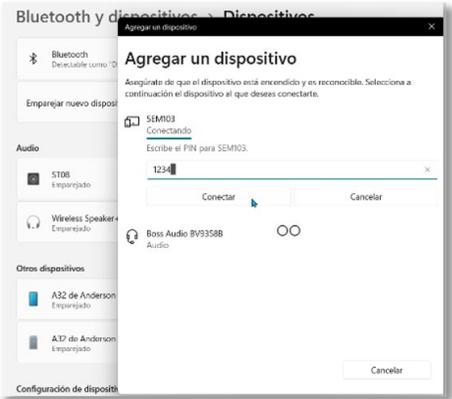
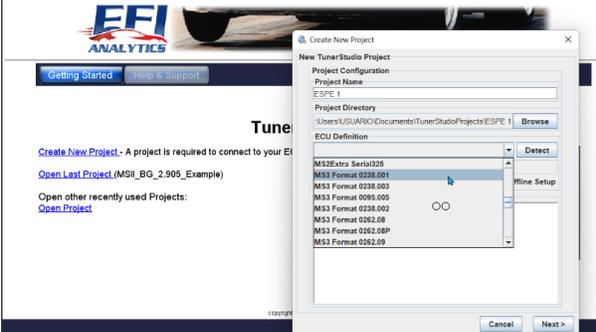
*Interfaz TunerStudio MS versión 3.1.06*



*Nota.* Características de la interfaz y sus diferentes herramientas principales para programación de computadoras.

**Tabla 31**

*Proceso para programar la MS3*

Pasos	Figuras
<p>Una de las facilidades de la ECU es su conexión mediante Bluetooth, como primer paso se agrega el dispositivo al ordenador. Para vincular pide una contraseña la cual es 1234 que viene dada por el fabricante.</p>	
<p>Una vez enlazada la ECU al ordenador, se crea un nuevo proyecto y selecciona la versión de la ECU con la cual se trabaja..</p>	



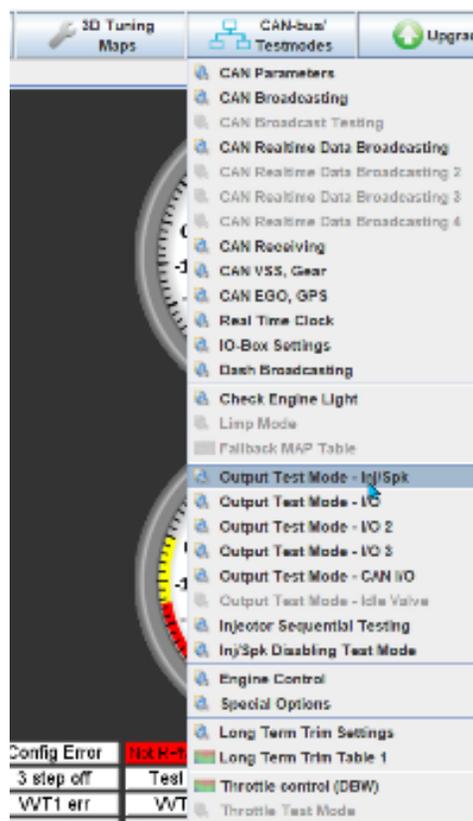
## Pasos

## Figuras

Se calibra los indicadores, en caso de que un indicador este mostrando un valor que no se necesite se selecciona una nueva entrada hacia el indicador de un sensor diferente, dando click derecho sobre el indicador.



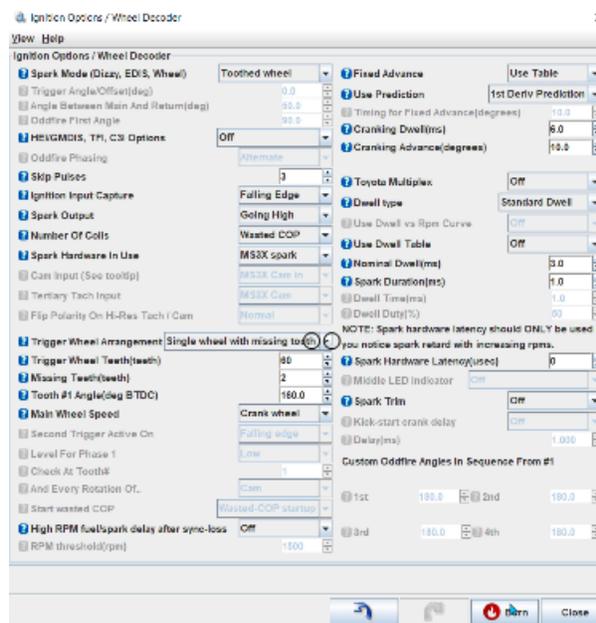
Para verificar chispa e inyección de combustible se usa la herramienta de testeo, seleccionando CAN-bus/Testmodes y luego testeo de inyección y chispa.



## Pasos

Una vez finalizado el punto anterior se configura el encendido, los parámetros de la rueda dentada y el sensor CKP y obtener información del giro del cigüeñal para el salto de chispa.

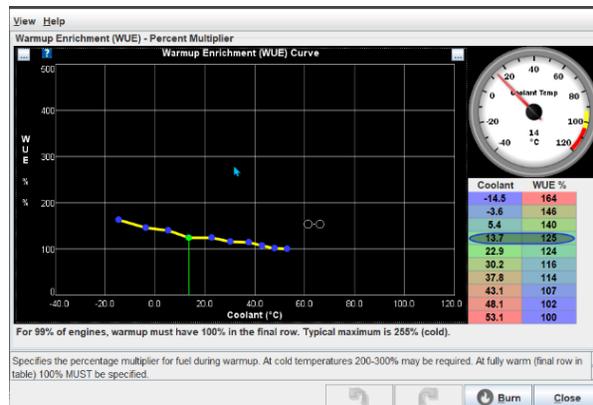
## Figuras



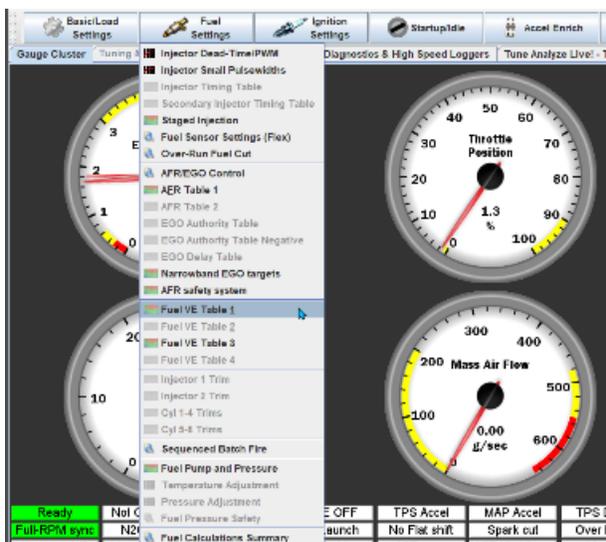
Pasos

Figuras

Para el arranque en frío se modifica la curva de enriquecimiento de combustible.



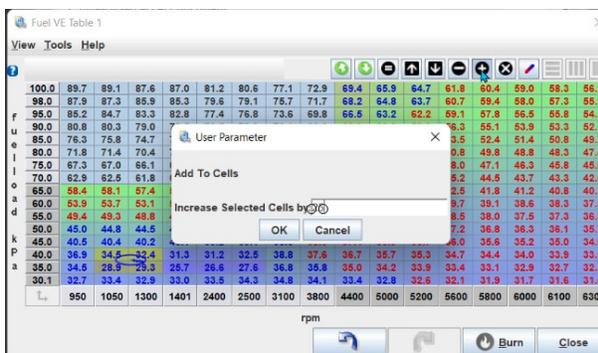
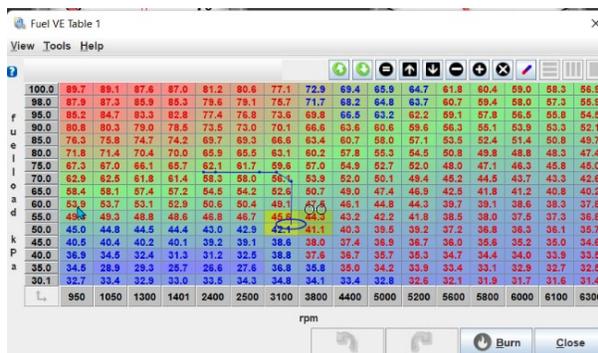
Una vez configurado el programa se da arranque al motor para luego programar mediante los valores de eficiencia volumétrica.



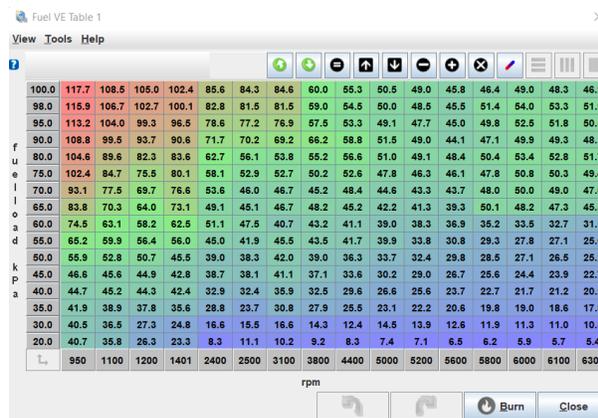
Pasos

Figuras

El programa da los primeros valores con los cuales el motor va a trabajar, pero es necesario calibrar la mezcla, sea estequiométrica y evitar fallos en bajas o altas rpm, el software indica mediante un círculo la eficiencia con la cual está trabajando al instante. Para obtener mejores resultados se aumenta o disminuye la cantidad de aire mezclado con las partículas de combustible aumentando el valor de los números y en caso de ser necesario bajando.



Para obtener mejores resultados se realiza pruebas en ruta donde se modifica el mapa, al final de la ruta se obtiene el mejor rendimiento de motor, con el mapa modificado.



## Capítulo IV

### 4. Pruebas y análisis de resultados del desempeño del motor 4G13

En el desarrollo del trabajo investigativo se considera tomar valores de los parámetros característicos al motor 4G13 (consumo de combustible, torque, potencia y emisión de gases contaminantes) antes y después de implementar el sistema de inyección secuencial, con ello se podrá verificar los cambios obtenidos con este sistema, concretando el cumplimiento de las metas planteadas en nuestro trabajo.

#### 4.1. Pruebas antes de la investigación

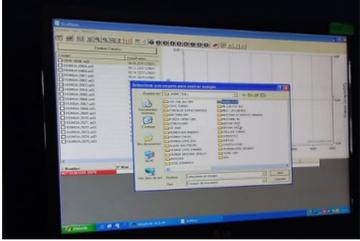
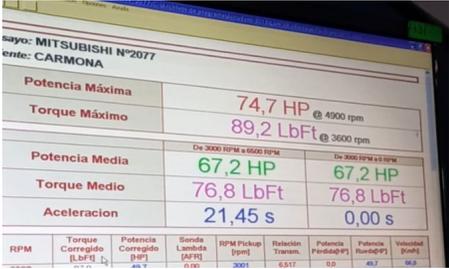
##### 4.1.1. Prueba de potencia y torque en el dinamómetro

Para lograr obtener la potencia real del motor se realiza una prueba dinamométrica la cual consiste en colocar el tren de potencia del vehículo sobre un dinamómetro de rodillos.

**Tabla 32**

*Proceso para la obtención de datos.*

Pasos	Descripción	Fotos
1	Colocar el tren delantero sobre los rodillos del dinamómetro	

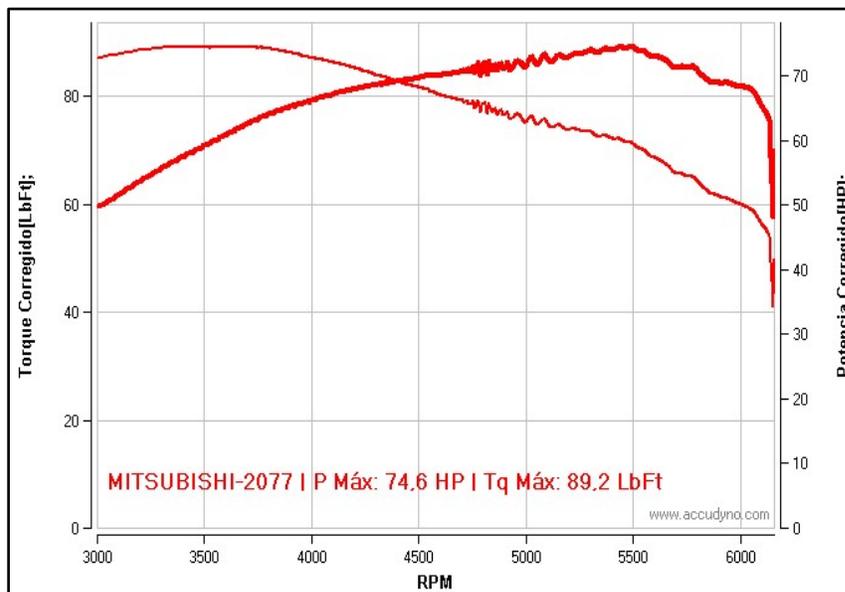
Pasos	Descripción	Fotos														
2	Asegurar el vehículo con correas de amarre, estas son ancladas al piso.															
3	Llenar los datos del vehículo y motor en el software.															
4	Colocar turbinas de enfriamiento para el motor.															
5	Iniciar la prueba acelerando progresivamente el motor y cambiando de velocidades hasta llegar a 3ra velocidad, ya que ahí existe transferencia directa de la potencia y torque del moto.	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Prueba: MITSUBISHI N-2077</th> </tr> <tr> <th colspan="2">ente: CARMONA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Potencia Máxima</td> <td>74,7 HP @ 4900 rpm</td> </tr> <tr> <td>Torque Máximo</td> <td>89,2 LbFt @ 3600 rpm</td> </tr> <tr> <td>Potencia Media</td> <td>De 3000 RPM a 6500 RPM: 67,2 HP</td> </tr> <tr> <td>Torque Medio</td> <td>De 3000 RPM a 6500 RPM: 76,8 LbFt</td> </tr> <tr> <td>Aceleracion</td> <td>21,45 s</td> </tr> </tbody> </table>	Prueba: MITSUBISHI N-2077		ente: CARMONA		Potencia Máxima	74,7 HP @ 4900 rpm	Torque Máximo	89,2 LbFt @ 3600 rpm	Potencia Media	De 3000 RPM a 6500 RPM: 67,2 HP	Torque Medio	De 3000 RPM a 6500 RPM: 76,8 LbFt	Aceleracion	21,45 s
Prueba: MITSUBISHI N-2077																
ente: CARMONA																
Potencia Máxima	74,7 HP @ 4900 rpm															
Torque Máximo	89,2 LbFt @ 3600 rpm															
Potencia Media	De 3000 RPM a 6500 RPM: 67,2 HP															
Torque Medio	De 3000 RPM a 6500 RPM: 76,8 LbFt															
Aceleracion	21,45 s															

Pasos	Descripción	Fotos
6	Quitar las correas de amarre y bajar el vehículo de los rodillos.	

Para mostrar y comparar los resultados obtenidos al concluir con el trabajo investigativo se usa un dinamómetro el cual nos permite recopilar datos con respecto al torque y potencia del motor con su sistema estándar de alimentación y encendido eléctrico.

**Figura 101**

*Torque y potencia vs rpm del motor estándar*



*Nota.* Los valores obtenidos en el dinamómetro indicaron que el motor 4G13 estándar tiene una potencia 74.7 H @4900 rpm y un torque de 89.2 Lb ft @ 3600 rpm.

**Tabla 33**

Valores de potencia y torque del motor 4G13 con su sistema estándar

<b>RPM</b>	<b>Torque (Kg/m)</b>	<b>Torque (Lb/ ft)</b>	<b>Potencia (HP)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>
<b>3000</b>	129,47	87	49,7	66
<b>3100</b>	130,36	87,6	51,5	67,9
<b>3200</b>	131,7	88,5	53,7	70
<b>3300</b>	131,7	88,5	53,7	72,4
<b>3400</b>	132,6	89,1	57,5	74,4
<b>3500</b>	132,45	89	59,2	76,8
<b>3600</b>	<b>132,74</b>	<b>89,2</b>	61	78,9
<b>3700</b>	132,6	89,1	62,6	81,1
<b>3800</b>	131,7	88,5	63,8	83,3
<b>3900</b>	130,66	87,8	65,1	85,5
<b>4000</b>	129,32	86,9	66	87,7
<b>4100</b>	128,13	86,1	67,1	89,9
<b>4200</b>	126,79	85,2	67,9	92,1
<b>4300</b>	124,86	83,9	68,7	94,5
<b>4400</b>	123,07	82,7	68,7	96,5
<b>4500</b>	121,43	81,6	69,1	98,8
<b>4700</b>	118,01	79,3	70,8	103,1
<b>4900</b>	119,35	80,2	<b>74,6</b>	107,6
<b>5100</b>	110,12	75	72,8	112
<b>5300</b>	111,61	73,6	74,2	116,4

RPM	Torque (Kg/m)	Torque (Lb/ ft)	Potencia (HP)	Velocidad (km/h)
5500	109,53	71,2	74,5	120,8
5700	105,96	65,5	71,1	125,2
5900	97,47	61,4	69	129,6
6000	89,289	60	68,6	131,8
6100	83,48	56,1	65,2	134

#### 4.1.2. Emisión de gases contaminantes

Para obtener los valores específicos de los gases contaminantes arrojados por el motor 4G13 se usa un analizador de gases el cual muestra los siguientes valores.

**Figura 102**

*Gases contaminantes en motor carburado.*



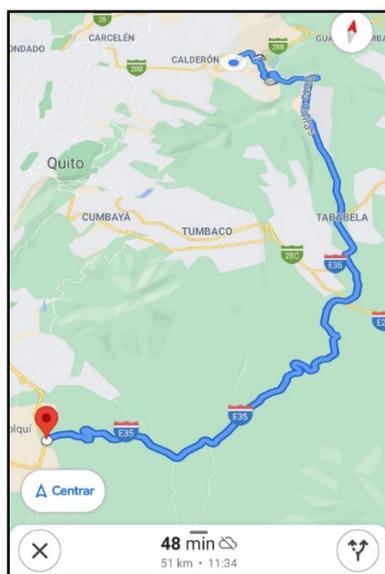
*Nota.* Valores de los componentes químicos emitidos por el tubo de escapa, los valores mostrados están el porcentaje volumétrico y ppm.

#### 4.1.3. Consumo de combustible

Para el desarrollo de esta prueba se basa en la normativa DIN 70030, la cual indica que se debe realizar un recorrido mínimo de 100 km de ida y vuelta en carreteras normales, tomar en cuenta las condiciones reales de uso del vehículo, la cual es con carga viva de dos personas, el recorrido se lo realiza a una velocidad entre 70 km/h y 100 km/h.

#### Figura 103

*Ruta establecida en Google Maps*



*Nota.* Recorrido establecido en la ciudad de Quito para determinar el consumo de combustible del motor 4G13 con sistema de alimentación por carburador.

Una vez marcada la ruta de conducción desde el redondel del Colibrí hacia el redondel de Calderón, se procede a llenar el tanque en el punto de inicio de la prueba,

marcando una ruta de 51 km, la cual se recorre de ida y vuelta sumando un total de 102 km.

### Figura 104

*Tacómetro de combustible marcando Full*



*Nota.* Velocidad de recorrido al inicio de la prueba y posicionamiento de la aguja de combustible en su medidor.

Cuando se concluye el recorrido y llegado al mismo punto de partida se vuelve a llenar el tanque de combustible, así se verifica la cantidad de consumo en el transcurso del recorrido dando un valor de 2.17 Galones USA.

### Figura 105

*Llenado de combustible al tanque del vehículo*



*Nota.* Valor de consumo de combustible en galones después del recorrido, valor en dólares gastado.

Al finalizar la prueba de ruta y haber llenado el tanque de combustible, se procede a calcular el consumo de gasolina del motor 4G13 carburado en litros por kilómetro recorrido.

$$\text{Consumo } 102 \text{ Km} = 2.17 \text{ gal}$$

$$\text{Valor por Km} = \frac{2.17 \text{ gal}}{102 \text{ km}}$$

$$\text{Valor por Km} = 0.0212 \frac{\text{gal}}{\text{km}}$$

$$\text{Consumo por Km} = 0.0212 \frac{\text{gal}}{\text{km}} * \frac{3.78 \text{ l}}{1 \text{ gal}}$$

$$\text{Consumo por Km} = 0.080 \text{ litros}$$

## **4.2. Pruebas con el sistema SFI implementado**

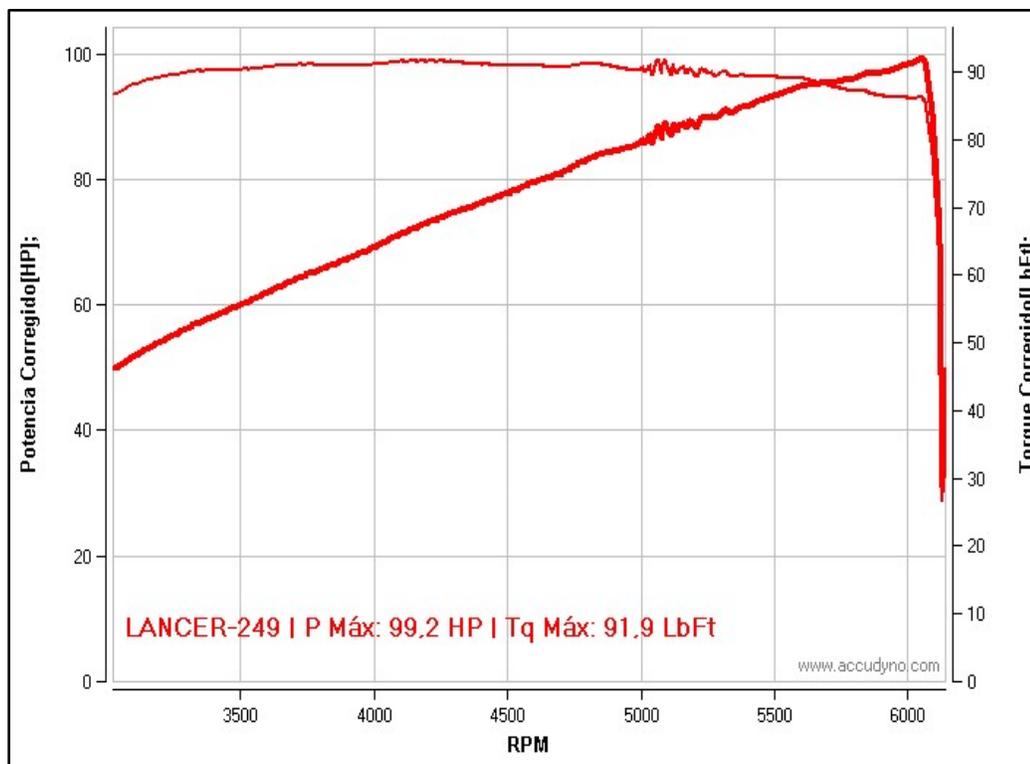
Al finalizar el proyecto de investigación e implementación del nuevo sistema de inyección secuencial al motor, se procede a realizar las pruebas realizadas anteriormente, para comparar sus resultados.

### **4.2.1. Pruebas de potencia y torque en el dinamómetro**

Antes de realizar la prueba dinamométrica, se realiza pruebas de manejo en ciudad y avenidas buscando el equilibrio entre manejo y máximo rendimiento del motor, programando la ECU los mapas de combustibles VE e ignición.

**Figura 106**

*Curvas de torque y potencia implementado el sistema SFI*



*Nota.* Forma de onda del torque y potencia determinada en el dinamómetro, del motor 4G13 con el sistema de inyección secuencial.

El incremento de torque y potencia de vehículo, se obtuvo un resultado positivo incrementando 20 HP al motor con el sistema de inyección secuencia, concluyendo que si eficiente la implementación de inyección electrónica a un vehículo carburado.

**Tabla 34***Valores de potencia y torque del motor 4G13 con sistema SFI*

<b>RPM</b>	<b>Torque 2 (Kg/m)</b>	<b>Torque 2 (Lb/ ft)</b>	<b>Potencia 2 (HP)</b>	<b>Velocidad 2 (km/h)</b>
<b>3000</b>	128,87	86,6	49,8	60,7
<b>3100</b>	130,96	88	51,7	62
<b>3200</b>	132,30	88,9	53,9	63,9
<b>3300</b>	133,64	89,8	56,2	66
<b>3400</b>	134,38	90,3	58,3	68,2
<b>3500</b>	134,23	90,2	60	70,1
<b>3600</b>	134,68	90,5	61,8	72
<b>3700</b>	135,72	91,2	64,2	74,2
<b>3800</b>	135,13	90,8	65,4	76
<b>3900</b>	135,42	91	67,5	78,3
<b>4000</b>	135,42	91	69,1	80,1
<b>4100</b>	136,02	91,4	71,1	82,1
<b>4200</b>	136,76	91,9	73,1	84,3
<b>4300</b>	136,17	91,5	74,5	86,1
<b>4400</b>	135,57	91,1	76,1	88,1
<b>4500</b>	135,57	91,1	76,1	88,1

<b>RPM</b>	<b>Torque 2 (Kg/m)</b>	<b>Torque 2 (Lb/ ft)</b>	<b>Potencia 2 (HP)</b>	<b>Velocidad 2 (km/h)</b>
<b>4700</b>	134,98	90,7	80,9	94,1
<b>4900</b>	135,13	90,8	84,5	98,2
<b>5100</b>	133,19	89,5	86,8	102,3
<b>5300</b>	135,13	90,8	91,5	105,3
<b>5500</b>	132,74	89,2	93,4	110,4
<b>5700</b>	131,11	88,1	95,6	114,4
<b>5900</b>	128,73	86,5	97,1	118,4
<b>6000</b>	128,28	86,2	99,2	120,4
<b>6100</b>	112,06	75,3	87,2	122,5

*Nota.* Los resultados obtenidos en la prueba dinamométrica, la potencia máxima es de 98.4 HP @ 6000 rpm y un torque máximo de 91.5 Lb ft @ 4200 rpm

#### **4.2.2. Emisión de gases contaminantes**

Al finalizar las pruebas del dinamómetro se realiza las pruebas de emisiones de gases obteniendo resultados positivos en la reducción de los gases a comparación del sistema carburado.

**Figura 107**

*Emisiones de gases implementado el sistema SFI*



*Nota.* Valores de los componentes químicos emitidos por el tubo de escapa, los valores mostrados están el porcentaje volumétrico y ppm

#### **4.2.3. Consumo de combustible**

Se procede a llenar el tanque de combustible, realizando el mismo trayecto que la prueba de consumo anterior y observar el nuevo consumo al implementar el sistema SFI.

**Figura 108**

*Consumo de combustible implementado el sistema SFI*



*Nota.* Valor de consumo de combustible en galones después del recorrido, valor en dólares gastado.

Al finalizar la prueba de ruta y haber llenado el tanque combustible, se calcula el consumo de gasolina del motor 4G13 con sistema de inyección secuencial.

$$\text{Consumo } 102 \text{ Km} = 1.79 \text{ gal}$$

$$\text{Valor por Km} = \frac{1.79 \text{ gal}}{102 \text{ km}}$$

$$\text{Valor por Km} = 0.0175 \frac{\text{gal}}{\text{km}}$$

$$\text{Consumo por Km} = 0.0175 \frac{\text{gal}}{\text{km}} * \frac{3.78 \text{ l}}{1 \text{ gal}}$$

$$\text{Consumo por Km} = 0.066 \frac{\text{l}}{\text{km}}$$

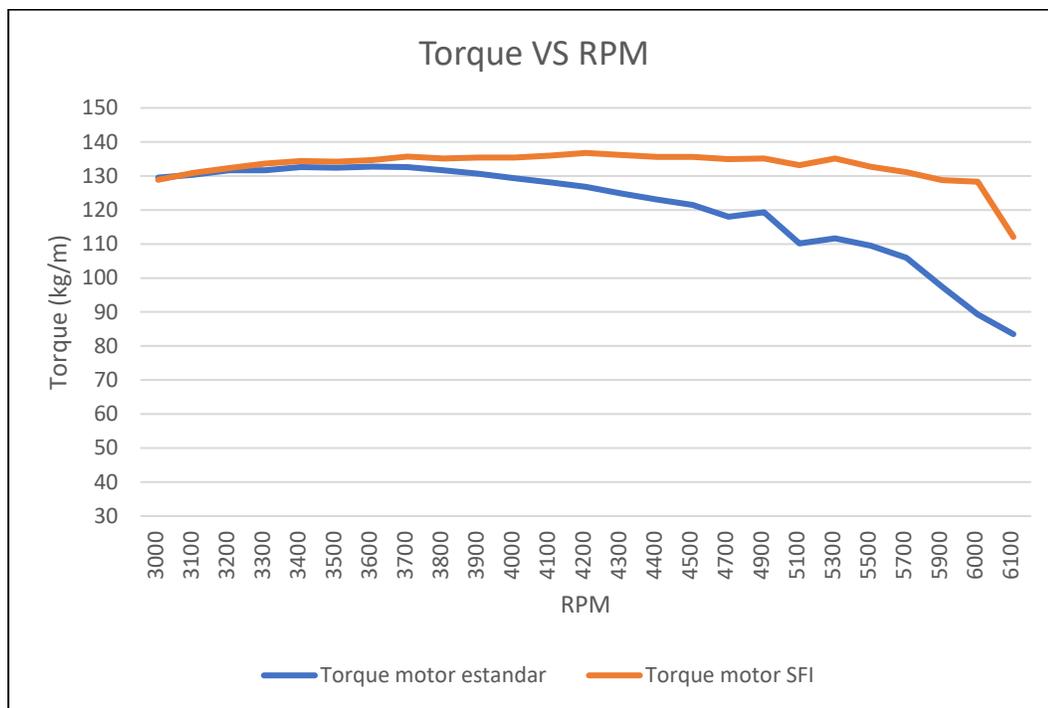
### **4.3. Análisis de resultados.**

Con la finalidad de tener una mejor visión de alcanzar los objetivos y metas establecidas cuando se inició el proyecto, se detalló en porcentajes los valores obtenidos y una comparación entre el motor 4G13 alimentado con carburador y alimentado con el sistema de inyección secuencial.

#### **4.3.1. Torque motor 4G13**

**Figura 109**

*Torque entre iniciales y finales*

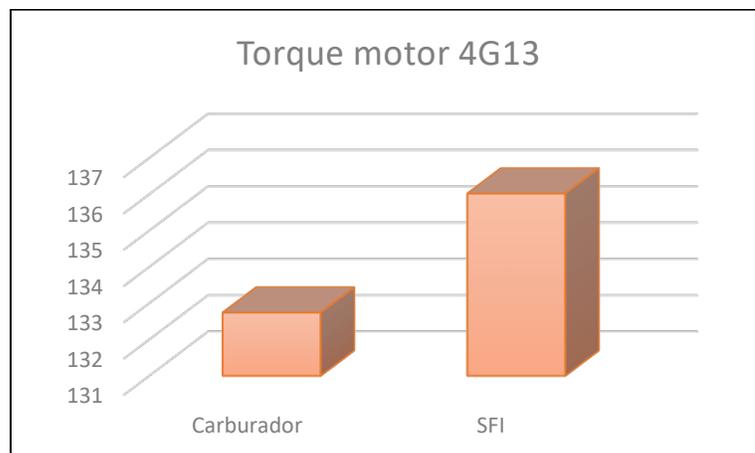


*Nota.* Curvas de torque vs rpm del motor realizadas mediante los valores arrojados por el dinamómetro dando un aumento del 2.47%.

En base a las metas establecidas se observa un incremento en el torque, iniciando con un valor de 132,74 kg/m a 3600 rpm del motor con alimentación mediante carburador, al implementar el sistema se consigue llegar a un valor de 136,02 kg/m en porcentaje se llega a aumentar un 2,47 %.

**Figura 110**

*Torque máximo del motor 4G13 con diferente sistema de alimentación*

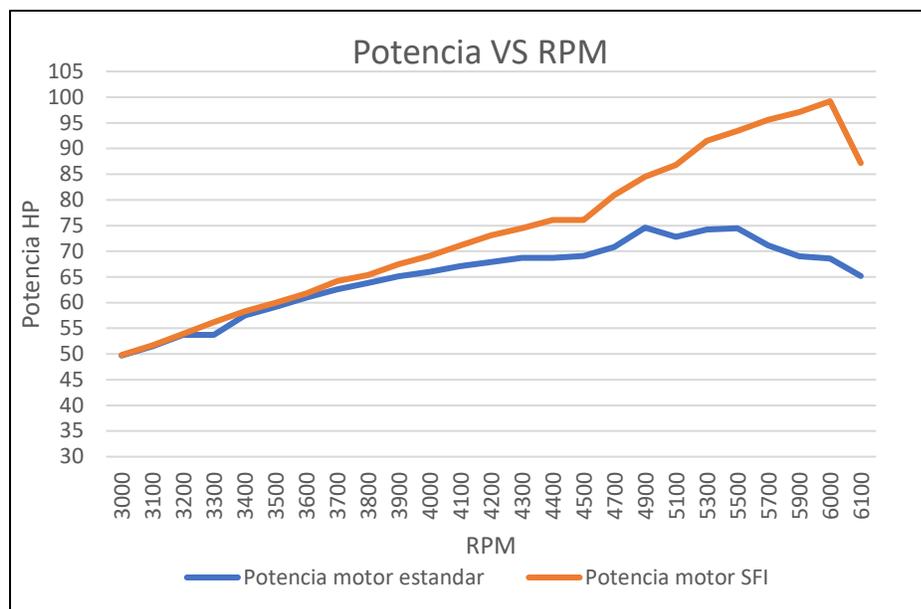


*Nota.* Diferencia de torque existente cuando el motor era alimentado con carburador vs alimentado con el sistema de inyección secuencial obteniendo un incremento del 2.47%.

#### 4.3.2. Potencia

**Figura 111**

*Potencia entre finales e iniciales*

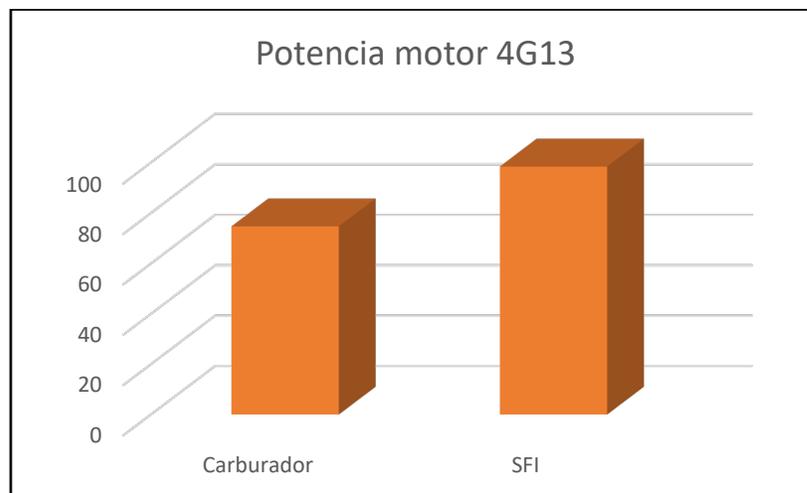


*Nota.* Curvas de potencia vs rpm del motor realizadas mediante los valores arrojados por el dinamómetro en las dos diferentes pruebas pasadas.

Con el sistema de alimentación secuencial se logra obtener un aumento alto en cuanto a la potencia del motor 4G13, iniciando con una potencia máxima de 74,7 Hp a 4900 rpm del motor con el sistema de alimentación por carburador, al implementar el sistema de inyección secuencial se logra obtener una potencia máxima de 98,4 Hp a 6000 rpm del motor. En porcentaje se logró aumentar un 31,73 %.

### Figura 112

*Potencia máxima del motor 4G13 con diferente sistema de alimentación*



*Nota.* Diferencia del valor de potencia existente cuando el motor era alimentado con carburador vs alimentado con el sistema de inyección secuencial obteniendo un incremento del 31.73 %.

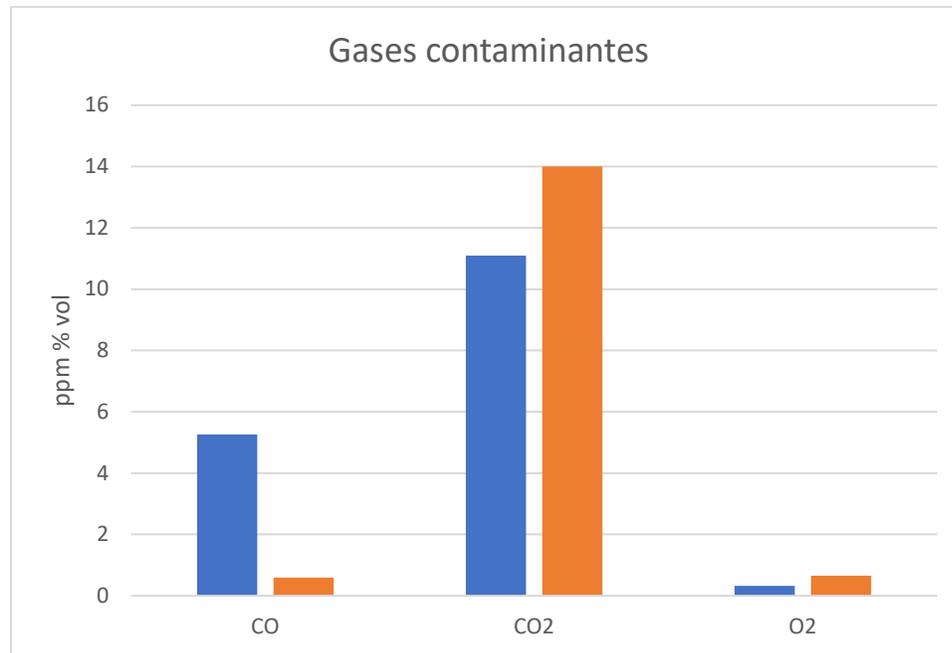
#### 4.3.3. Emisión de gases contaminantes

Se basó en la norma antes mencionada, se tomó los valores de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) con el sistema de alimentación por carburador dando

los siguientes valores respectivamente 5,26 %Vol y 297 ppm y con el sistema de inyección secuencial se obtuvo 0,49 %Vol % y 87 ppm.

### Figura 113

*Valores de CO y CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> emitidos con cada sistema de alimentación*

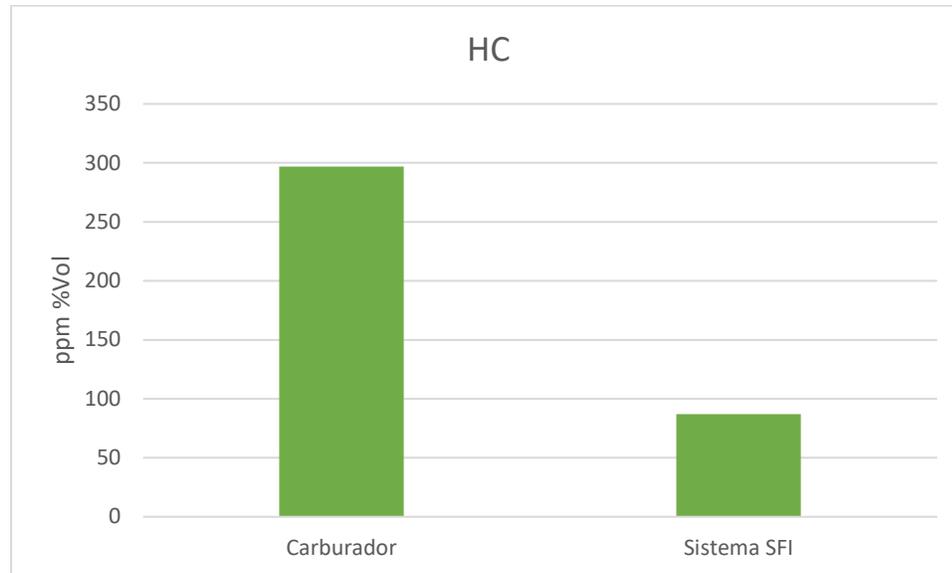


*Nota.* Diferencia en las emisiones de CO cuando el motor era alimentado con carburador vs alimentado con el sistema de inyección secuencial reduciendo un 89.7 %.

La reducción del monóxido de carbono al implementar el sistema de inyección electrónica secuencial es de 89.7% menos a comparación del sistema carburado, generando menos gas contaminante perjudicial para el medio ambiente.

**Figura 114**

*Valores HC emitidos con cada sistema de alimentación*



*Nota.* Diferencia en los hidrocarburos HC cuando el motor era alimentado con carburador vs alimentado con el sistema de inyección secuencial se redujo un 70%.

La reducción de hidrocarburos al implementar el sistema de inyección electrónica secuencial es de 70% menos gas contaminante perjudicial para el medio ambiente.

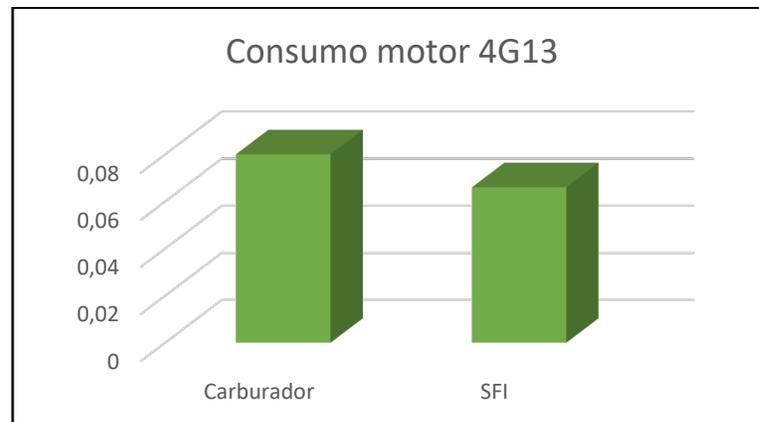
#### **4.3.4. Consumo de combustible**

El consumo con el carburador es de 0,080 l/km, al implementar el sistema de alimentación secuencial y bajo los mismos parámetros de la prueba inicial se obtuvo un consumo de 0,066 l/km.

En porcentaje se llega a disminuir el consumo de combustible un 17,5 %.

**Figura 115**

*Consumo de combustible con cada sistema de alimentación*



*Nota.* Diferencia en consumo cuando el motor era alimentado con carburador vs alimentado con el sistema de inyección secuencial ahorrando un 17.5 % de gasolina.

## Capítulo V

### 5. Marco administrativo

A continuación, se detalla de manera organizada los recursos humanos, tecnológicos y materiales, que son indispensables en el desarrollo del proyecto.

#### 5.1. Recursos humanos.

En los recursos humanos, son las personas involucradas dentro del proyecto investigativo.

**Tabla 35**

*Recursos humanos*

Orden	Nombres			Función	
1	Ing. Washington Erazo Laverde	Gérman	Docente	Colaborador	Científico
2	Codena Iza Bryan Alexander			Alumno	Investigador
3	Morales Eduardo	Alba	Anderson	Alumno	Investigador

*Nota.* Personas involucradas en el desarrollo del proyecto

#### 5.2. Recursos tecnológicos.

Las herramientas tecnológicas usadas en el desarrollo de información, obtención de datos se detallan a continuación.

**Tabla 36***Recursos tecnológicos*

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
<b>1</b>	Computadora	2	\$300
<b>2</b>	Software Solid Works	1	\$0
<b>3</b>	Software TunerStudio	1	\$0
<b>Total</b>			<b>\$300</b>

**5.3. Recursos materiales**

A continuación, se detalla todos los materiales principales usados en el desarrollo del proyecto investigativo.

**Tabla 37***Recursos materiales*

<b>Orden</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
<b>1</b>	1	Computadora Micro squirt V3	750	750
<b>2</b>	1	ITBS KEIHIN	300	300
<b>3</b>	4	Inyectores	33	132
<b>4</b>	4	Sockets inyectores	10	40
<b>5</b>	1	Sensor CKP	55	55

<b>Orden</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
6	1	Base del sensor CKP	30	30
7	4	Bobinas Independientes	70	280
8	4	Socket bobinas	5	20
9	4	Bujías NGK	4,5	18
10	2	Rueda Fónica	40	80
11	1	Bomba eléctrica de combustible	60	60
12	1	Reguladora de presión	50	50
13	1	Múltiple de admisión	200	200
14	1	Empaque de admisión	7	7
15	1	Sensor ECT	14	14
16	1	Sensor IAT	17	17
17	2	Manguera de gasolina 1/4 in	4,5	9
18	8	Abrazaderas 1/4 in	0,4	3,2
19	2	Abrazaderas 2 in	1,5	3
20	2	Abrazaderas 1 in	1	2
21	1	Gasolina	30	30
21	2	Pruebas emisión de gases	10	20
21	2	Pruebas Dinamométricas	40	80
22	1			
			<b>Costo Total</b>	2200,2

#### 5.4. Costo neto del proyecto

El costo neto del proyecto “Implementación de un sistema de inyección electrónica gasolina SFI en el motor de combustión interna 4G13 Mitsubishi Lancer 1300cc para optimización de sus parámetros característicos” sumado los recursos tecnológicos y materiales suman.

**Tabla 38**

*Costo neto del proyecto*

<b>Descripción</b>	<b>Costos total USD</b>
Recursos materiales	\$2200.20
Recursos tecnológicos	\$300
Movilidad	\$ 100
<b>Total</b>	<b>\$2600.2</b>

## Capítulo VI

### 6. Conclusiones y recomendaciones

#### 6.1. Conclusiones

- Se concluyó el trabajo investigativo con éxito, alcanzando un incremento potencia y torque en la implementación del sistema de inyección electrónica secuencial, conjuntamente con la implementación del sistema de admisión de aire individual.
- Se recolectó información del motor Mitsubishi Lancer, en manuales, catálogos y fuentes electrónicas, donde facilito la selección de los sistemas eléctricos y mecánicos a ser implementados,
- En la simulación CAD de flujo volumétrico del nuevo múltiple de admisión, se concluye que el modelado a 45° inclinación presenta un incremento del 98% en la velocidad del aire y un 57% en el flujo másico y volumétrico a comparación de los modelados a 90° y 0° de inclinación.
- Se seleccionó los componentes electrónicos de acuerdo a las especificaciones del motor Mitsubishi Lancer, y se los implementó acorde al diagrama eléctrico Pin Outs de la computadora programable MegaSquirt 3V.
- Se realizaron pruebas de compresión, estanquidad y fugas de corriente, concluyendo que el vehículo está en óptimas condiciones para la implementación del sistema de inyección electrónica independiente.
- La instalación del sistema eléctrico de la computadora conjuntamente con los sensores y actuadores se realizó de realizo de manera exitosa, la programación de la computadora se desarrolló un mapeo ahorrador de combustible sin perder potencia y torque del motor.

- Mediante de equipos y herramientas de medición de concluyó, el incremento de la potencia en 32%, en torque 2.5%, se redujo en 17.5% el consumo de combustible y reducción de gases contaminantes CO 89.7% y HC 70% menos
- Se concluye, el sistema de inyección electrónica secuencial SFI es más eficiente a comparación del carburador.
- Se eliminaron los problemas de encendido en frio del vehículo cuando usaba carburador.

## **6.2. Recomendaciones**

- Limpiar el habitáculo del motor si hay presencia de polvo, con la finalidad de tener un acabado estético.
- Señalar adecuadamente el cableado de la computadora al momento de realizar el arnés.
- Fijar el distribuidor para la obtención de la señal del CMP, y así evitar interferencia en la obtención de señal ocasionando contra explosiones.
- Conectar los Pin Outs de las bobinas de acuerdo al orden de encendido del vehículo.
- Elaborar una base rígida en el montaje del CKP, debido a las vibraciones del motor en funcionamiento el mismo puede moverse dando interferencias en la señal.
- Sujetar la rueda fónica mediante pernos a la polea del cigüeñal o si es compartida con el aire acondicionado sujetarla a él.
- Limpiar y pulir los bordes externos e internos del nuevo múltiple de admisión.
- Observar el estado físico de las llantas motrices antes de realizar la prueba del dinamómetro.

- Verificar el apriete de los empalmes o uniones realizados en el sistema eléctrico, para evitar que se aflojen a un futuro.
- Cubrir con manguera corrugada el nuevo arnés del sistema eléctrico y cubrirla con cinta de tela, a comparación del taípe este pierde ajuste con el calor.
- Cambiar la banda de distribución y así evitar en un corto tiempo desarmar nuevamente partes mecánicas del vehículo.

## Bibliografía

Aguilar, J., & Herrera, P. (2020). *DISEÑO Y ANÁLISIS DEL COLECTOR DE ADMISIÓN DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO PARA UN VEHÍCULO DE FÓRMULA SAR*. Obtenido de Repositorio UTN: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10561/2/04%20MAUT%20113%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

Alcivar, L. (15 de Mayo de 2015). *El Par, la potencia y el consumo de un motor*. Obtenido de : <http://files.ganaderiafg.webnode.es/200000501-231a424160/EI%20Par%20y%20la%2>

Araujo, R., & Cardenas, S. (2010). Diseño e implementación de un tablero didáctico para simulación de un sistema de inyección electrónica a gasolina M.P.F.I. Quito, Quito, Ecuador. Recuperado el 16 de Julio de 2021, de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/183/4/T-UIDE-0813.pdf>

Armas, D., & Vallejo, A. (2013). Implementación de un Sistema de Inyección Multipunto Programable en un vehículo a carburador. Universidad San Francisco de Quito. Recuperado el 06 de Julio de 2021, de <file:///C:/Users/Alexander/Downloads/109440.pdf>

Bayas, A. (2017). *Rugosidad Superficial*,. Recuperado el 01 de agosto de 2021, de Grupo Tecnología mecánica - Procesos de fabricación: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/10.pdf>

Blogger. (1 de julio de 2014). *Sistema de admisión de aire del motor*. Obtenido de <http://sistemadmisiair.blogspot.com/2014/06/sistema-de-admision-el-sistema-de.html>

- Brontons, M. M. (14 de Junio de 2010). *Técnica Industrial de Barcelona*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11337/PFC1.pdf?sequence>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica* (Vol. 9). México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA.
- Buendía, R. (10 de octubre de 2017). *Motorpasión*. Obtenido de Inyección multipunto vs Inyección directa: <https://www.motorpasion.com.mx/tecnologia/inyeccion-multipunto-vs-inyeccion-directa-en-realidad-son-tan-diferentes>
- Buendía, R. (12 de Agosto de 2018). *Motor Pasión*. Recuperado el 06 de Julio de 2021, de <https://www.motorpasion.com.mx/tecnologia/carburadores-como-funcionan-que-estan-extincion>
- Cabrera, R., & Cifuentes, V. (2009). En *Adaptación de un sistema de inyección programable en un vehículo a carburador*. Riobamba: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Recuperado el 07 de Julio de 2021, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/418/3/65t00001.pdf>
- Caiza, M. (12 de Septiembre de 2016). *Sistema de Inyección Electrónica de Combustible*. Recuperado el 06 de Julio de 2021, de SCRIBD: <https://es.scribd.com/presentation/323782250/Capitulo-1-Sistema-de-Inyeccion-Electronica-de-Combustible-Copia>
- Casado, E., Navarro, J., Morales, T., & Jimenez, J. (2009). *Técnicas Básicas de Mecánica y electricidad*. Madrid, España: Poligono Industrial Alparrache Navalcamero. Recuperado el 04 de Julio de 2021, de

<https://books.google.com.ec/books?id=VWijmsbBR2UC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Castillo, C. J., & Rojas. (Enero/ Marzo de 2017). Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático. *Revista Politecnica*, 39(1). Recuperado el 2021, de [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-01292017000100049](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292017000100049)

Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). *Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones*. Mexico: Mc Graw-Hill Interamericana.

Cerebro, A. (29 de Enero de 2019). *Mecánica de fluidos*. Recuperado el 04 de Agosto de 2021, de <https://www.facebook.com/UnCerebroHambriento/posts/flujo-laminar-se-llama-flujo-laminar-o-corriente-laminar-al-movimiento-de-un-flu/1627269634039175/>

Chacón, J. L. (2006). *Análisis de instalación y operación de un sistema de encendido sin distribuidor (DIS)*. Recuperado el 06 de Julio de 2021, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3995/1/T-ESPEL-0212.pdf>

Chimbolema, L. E., & Guaytoso, M. W. (2019). *ANÁLISIS DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN Y ESCAPE EN EL TORQUE Y POTENCIA DE UN MOTOR CICLO OTTO DE 1100cc, MEDIANTE UN SOFTWARE CFD Y SU VALIDACIÓN EXPERIMENTAL*. Obtenido de <http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/13473/1/65T00320.pdf>

Chontasi, P. L., & Vinlasaca, V. L. (2018). Investigación del desempeño del motor J14F003885 al implementar un sistema de inyección de combustible modificado electrónicamente a través de software dedicado. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*.

Concepcion, M. (2010). *Sensores Automotrices y Análisis de Ondas de Osciloscopio*. U.S.A: Vetronix Corp.

Cuadrado, I. A., & Sánchez, C. (2008). *Flujo compresible en multiples de motores*.  
Obtenido de  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=5G6rjnl6xqQC&oi=fnd&pg=PR11&dq=Flujo+compresible+en+multiples+de+motores&ots=nXqo5187Sa&sig=Yk12gu eaNq9F8ZakWKzamLP8Tm4#v=onepage&q=Flujo%20compresible%20en%20m ultiples%20de%20motores&f=false>

Díaz, D., Hurtado, J., Moliina, P., & Valarezo. (s.f.).

Elizalde, G., & Loayza, K. (10 de noviembre de 2016). *DESARROLLO DE UN MÚLTIPLE DE ADMISIÓN IMPLEMENTADO A UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA SAE PARA LA ESPOCH*. Recuperado el 2021 de Agosto de 04, de Repositorio ESPOCH:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5928/1/65T00206.pdf>

Enright, N. (2015). Basic principles of operation and applications of fuel injection systems in petrolpowered cars. *Limerick Institute of Technology*.

Fernández, M. (2019). Flujo Laminar y Turbulento. *Aerodinámica F1*, 1.

- Gomez, J., & Ramos, A. (2005). Construcción e Instalación de un Módulo de Pruebas del Sistema de Inyección Electrónica Secuencial (SFI). *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, 1,2.
- Gonzales Vallega, D. (2018). *Elementos constructivos*. Madrid: Paraninfo.
- Guachamin, N. (15 de Mayo de 2016). Implementación del Sistema de Inyección Electrónica a Gasolina a un vehículo Mazda 323. *Universidad San Francisco de Quito USFQ*, 47. Recuperado el 14 de Junio de 2021, de <http://192.188.53.14/bitstream/23000/5894/1/124740.pdf>
- Hidalgo, V. R. (2019). Investigación del desempeño mecánico del motor de combustión interna del vehículo Mazda 929 al implementar un sistema de inyección secuencial re-programable modulada con racetec R1000. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*.
- Inacap. (2001). *Inyección Electrónica Nivel I*. España: Inacap.
- Inche, J. (2001). Estimación de emisiones en vehículos en circulación. *Industrial Data*.
- INDAVE. (2011). *cifpsomeso*. Recuperado el 07 de Julio de 2021, de Inyección Directa de Gasolina: <https://www.edu.xunta.gal/centros/cifpsomeso/system/files/INYECCION+DIRECTA+DE+GASOLINA.pdf>
- Jovaj, M. (1977). *Motores del automovil*.
- KUBIEC. (2020). *FUJINOX*. Obtenido de Tubería inoxidable de belleza eterna: <https://kubiec.com/tuberia-de-acero-2/tuberia-acero-inoxidable/>

- Laverde, C., & Panchi, D. (2007). Diseño e implementación de un módulo de entrenamiento para inyección electrónica a gasolina del vehiuclo chevrolet vitara G1600 del laboratorio de motores. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*.
- LLagari, J. ..., & Valle, D. (2012). *Repositorio ESPE*. Obtenido de Análisis de fallas del tren alternativo del motor Opel-Corsa 1600 mediante el uso de herramientas computacionales (: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/5485/T-ESPEL-0931.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martinez, M. d. (16 de abril de 2010). *Blogger*. Recuperado el 07 de Julio de 2021, de Inyeccion indirecta: <http://mariadiesel05.blogspot.com/2010/04/>
- Mott, R. (2006). Mecánica de fluidos aplicada. *Pearson*.
- Palacios, W. (2018). Diseño, análisis y construcción de un múltiple de admisión para un vehículo de competencia de pista Chevrolet Forsa 1.3. *Univerisdad Internacional SEK*. Recuperado el 01 de Junio de 2021, de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3137/1/Dise%C3%B1o%20an%C3%A1lisis%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20un%20m%C3%BAltiple%20de%20admisi%C3%B3n%20vinicio%20palacios%20220818.pdf>
- Palomo, P. K., & Pilataxi, Y. E. (Noviembre de 2012). "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE CON LA UTILIZACIÓN DE UN SOFTWARE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL DINAMÓMETRO DEL LABORATORIO DE MOTORES DIESEL-GASOLINA. Recuperado el 2021 de Agosto de 04, de Repositorio ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8105/1/T-ESPEL-0980.pdf>

- Paredes, E. X. (2011). *Implementación de un Banco Simulador de fallas de un Sistema de inyección Electrónica de combustible (Gasolina) en un motor Corsa de cuatro cilindros 1.6L MPFI*. Recuperado el 07 de Julio de 2021, de Universidad Internacional del ecuador: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/164/1/T-UIDE-0158.pdf>
- Parera, A. M. (1990). *Inyección Electrónica en Motores de Gasolina*. Barcelona (España): Marcombo S.A.
- Paspuezan, C., & Cristian, S. (2013). *Escuela Superior Politécnica Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2654/1/65T00078.pdf>
- Pender, S. (2015). *Automotive Guided Test. Pico Technology*.
- Peñafiel, D., & Zabala, C. (2017). *Influencia en la potencia del motor 1.8 L Chevrolet Optra mediante la reingeniería del múltiple de admisión*. Recuperado el 12 de Julio de 2021, de Repositorio ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13202/1/T-ESPEL-MAI-0582.pdf>
- Pérez, C., & Pérez, E. (2015). *Reconstrucción de un todo terreno marca internacional scout II año 1979 e implementación de un sistema de inyección electrónica programable multipunto*. *Universidad de las Fuerzas Armadas Espe*. Recuperado el 10 de Junio de 2021, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11397/1/T-ESPE-048681.pdf>
- Pérez, L. (Septiembre de 2020). *Diseño y fabricación del sistema de admisión de aire para un MCI de un vehículo de bajo consumo*. Recuperado el 10 de Julio de 2021, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/155035/P%c3%a9rez%20->

%20DISE%c3%91O%20Y%20FABRICACI%c3%93N%20DEL%20SISTEMA%20DE%20ADMISI%c3%93N%20DE%20AIRE%20PARA%20UN%20MOTOR%20DE%20COMBUSTI%c3%93N%20INTERNA%20....pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pinargo, R. (2019). Sensores Automotrices. *Sensor Automotriz*.

Ponce, F. (2006). Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica . *Universidad de San Carlos de Guatemala*.

Quintero, D. L. (2020). *Repositorio Universidad Autonoma de Occidente*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/12200/T09031.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Ramirez, M. J. (2017). *Diseño e implementación del sistema de ingreso de aire y control de inyección de combustible para verificar la incidencia en el desempeño mecánico de un motor de combustión interna de 200cc mono cilindrico*. Recuperado el 01 de Agosto de 2021, de Repositorio ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13430/1/T-ESPEL-MAI-0601.pdf>

Reverte, J., & Aranda, M. (21 de Marzo de 2018). *Sistemas de admision y escape*. Obtenido de <http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/13473/1/65T00320.pdf>

Rueda, S. (2006). Manual técnico de Fuel Inyection. Guayaquil: Diseli Editors. Recuperado el 06 de Julio de 2021

Salcedo, M. (2011). Mecánica de fluidos. *Universidad de Alicante*.

Sanz, S. (2015). *Mantenimiento de vehiculos autopropulsados*. (J. Ablanque, Ed.) España: Editex S.A.

SECAP. (04 de Agosto de 2014). *Slideshare*. Recuperado el 05 de Julio de 2021, de <https://es.slideshare.net/marcosaperez5/sistema-de-alimentacion-del-vehiculo>

Simba, D. (Agosto de 2015). *Mecanicabasica*. Obtenido de <https://mecanicabasicacr.com/inyeccion/medir-o-comprobar-presion-de-combustible.html/>

Solano, F., & Fiallo, J. (2005). Obtenido de Instalación de un sistema de Inyección Electrónica Multipunto a un Motor GMC 5.7 LT.

Solano, F., & Fiallo, J. (2005). *Instalación de un sistema de Inyección Electrónica Multipunto a un Motor GMC 5.7 LT*.

Spectra Premium. (agosto de 2018). *Mercado de repuesto Canada*. Obtenido de <https://www.spectrapremium.com/es/aftermarket/north-america/electronic-throttle-body>

Sptronics. (s.f.). MS2super Engine Management System. *Spark Performance Electronics*, 2.

Trujillo, L. (2015). *Autotronica*. *Scribd*.

Utrera, C., & Alangasi, E. (Agosto de 2014). *Repositorios ESPE*. Recuperado el 28 de Junio de 2021, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8847/1/T-ESPEL-MAI-0478.pdf>

Valdés, D. R. (2010). Consumo de Combustible de los motores de combustión interna. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*.

Victor, C. (2015). *Análisis del rendimiento del tren de potencia para el servicio de taxis urbanos de la ciudad de Ibarra*. Recuperado el 03 de Agosto de 2021, de Universidad técnica del norte: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7589/2/ART%C3%8DCULO.pdf>

WEGA. (24 de julio de 2017). *FUNCIÓN CUMPLEN LOS FILTROS DE AIRE*. Recuperado el 10 de Julio de 2021, de <https://wega.com.ar/es/blog/%EF%BF%BDqu%EF%BF%BD-funci%EF%BF%BDn-cumplen-los-filtros-de-aire/211>

Wilson, D. L. (2017). Construcción de un banco de pruebas de sensores del vehiuclo Chevrolet Corsa Wind M.P.F.I para la carrera de Mecánica Automotriz de la unidad de Gestión de Tecnologías. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*.

Wolrdmeteo. (08 de noviembre de 2021). *Worldmeteo*. Obtenido de <https://www.worldmeteo.info/es/america-del-sur/ecuador/sangolqui/tiempo-137415/>